

**UJI KINERJA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR  
INDUSTRI PAPAN PARTIKEL SECARA AEROBIK**

**TESIS**



**Diajukan oleh :**

**Henny Ambar**  
**L4K002010**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2004**

**UPT-PUSTAK-UNDIP**

**TESIS**  
**UJI KINERJA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR**  
**INDUSTRI PAPAN PARTIKEL SECARA AEROBIK**

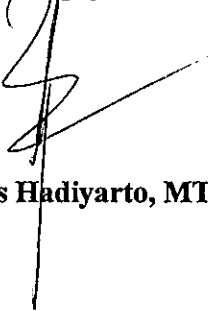
Disusun oleh :

**Henny Ambar**  
**L4K002010**

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji**  
**Pada Tanggal 26 Agustus 2004**  
**dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

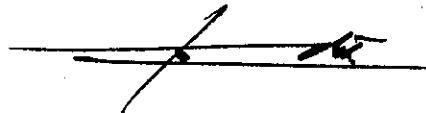
**Menyetujui,**

**Penguji**



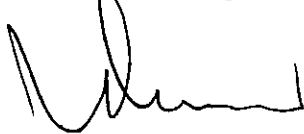
**Ir. Agus Hadiyanto, MT**

**Penguji**



**Ir. Syafrudin, CES, MT**

**Pembimbing I**



**Ir. Sumarno, Msi**

**Pembimbing II**



**Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng**

**Mengetahui**

**Ketua Program**

**Magister Ilmu Lingkungan**



  
**Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Semarang, Agustus 2004

Penulis

Henny Ambar  
L4K002010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan tugas akhir pada Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang dalam mencapai gelar kesarjanaan pada Program Pasca Sarjana (S2)

Dalam kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. Sumarno, MSi selaku pembimbing utama dan bapak Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng, selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan dan bantuan serta dukungan dengan penuh kesabaran dan penuh perhatian, sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prof. DR. Sudharto P. Hadi, MES, selaku Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan yang telah memberikan fasilitas akademik, dan memberikan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
3. Ayah bunda tercinta yang selalu berdoa untuk putrinya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Para Dosen, pengelola dan karyawan MIL, yang telah banyak memberikan bantuan yang berharga dalam penulisan tesis ini.
5. Teman-teman Magister Ilmu Lingkungan angkatan 2002 yang senantiasa memberikan semangat dan bantuannya dalam penyusunan tesis ini.

6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, dorongan dan bantuannya dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga apa yang telah diberikan mendapat balasan yang berlipat ganda dari Tuhan Yang Maha Esa, Amin. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya semoga tulisan ini bermanfaat bagi yang membacanya sebagai upaya pengelolaan lingkungan yang berkesinambungan.

Semarang, Agustus 2004

Penulis

## ABSTRACT

Research in laboratory scale used to know evaluation of aerobic treatment for wastewater treatment from PT Rimba Partikel Indonesia. Two anaerobic-aerobic reactor attached series and also operated by continue with time variation remain six point four, four point eight and three point two-day and COD:P nutrient variation 300:1, 200:1 and 100:1. Industrial liquid waste board particle with COD concentration 1500 mg / lt used as anaerobic reactor effluent, furthermore anaerobic effluent at the same time as aerobic reactor influent.

Intake sample conducted each every 24 hour during 10 day to every treatment, at influent pipe and aerobic reactor effluent after situation assumed staeady state especial variable which perceived is COD concentration, with analysis principle oxidize an organic matter in water with  $K_2Cr_2O_7$

Result of research indicate that efficiency average degradation COD influenced by the retention time remained. Efficiency average degradation COD with time variation remain 6,4 ; 4,8 and 3,2 day successively 60,50%, 56,10% and 52,04%, trust level 95%. This matter indicate that to more and more time depth remain will give time contact between organic materials which there are in wastewater with micro-organism in sludge also longer so that organic compound degradation COD becoming is biggest. Under colour of this is hence time remain 6,4 day used in determination rate of flow for the examination of nutrient ratio influence to efficiency degradation COD

Statistical test show efficiency degradation COD at various variation nutrient by together differ reality. Efficiency average degradation COD with ratio variation COD:P = 300:1, 200:1, 100:1 and control successively equal to 60,92%, 63,02%, 71,25% and 60,50% trust level 95%. This matter indicate that COD:P ratio variation = 100:1 requirement limited hara to aerobic microbe have fulfilled so that can be exploited maximally to make degradation of organic compound

Model rate biodegradation can be compiled is analogical the following substrate balance the following:

$$\text{Rate of biodegradasi } r_s = \frac{0,046 X_v \cdot Se}{665,033 + Se} \quad \text{mg/L day}$$

**Keyword :** Aerobic Reactor, Efficiency Degradation COD, Hydraulic Retention Time, Organic Wastewater, Rate of Biodegradation, Nutrient.

## RINGKASAN

Penelitian dalam skala laboratorium digunakan untuk menguji kinerja unit pengolahan limbah cair secara aerobik PT Rimba Partikel Indonesia. Dua reaktor anaerobik-aerobik dipasang seri serta dioperasikan secara kontinyu dengan variasi waktu tinggal enam koma empat, empat koma delapan dan tiga koma dua hari dan variasi nutrisi COD:P = 300:1, 200:1 dan 100:1. Limbah cair industri papan partikel dengan konsentrasi COD 1500 mg/lit digunakan sebagai influen reaktor anaerobik, selanjutnya efluen anaerobik sekaligus sebagai influen reaktor aerobik

Pengambilan sampel dilakukan setiap 24 jam selama 10 hari untuk tiap perlakuan, pada pipa influen dan efluen reaktor aerobik setelah keadaan dianggap tunak. Variabel utama yang diamati adalah konsentrasi COD, dengan prinsip analisa oksidasi zat organik dalam air dengan  $K_2Cr_2O_7$

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata efisiensi penurunan COD dipengaruhi oleh lamanya waktu tinggal. Rerata efisiensi penurunan COD dengan variasi waktu tinggal 6,4 ; 4,8 dan 3,2 hari berturut-turut 60,50%, 56,10% dan 52,04%, pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa makin lama waktu tinggal akan memberikan waktu kontak antara bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dengan mikroorganisme dalam sludge juga semakin lama sehingga degradasi senyawa organik (penurunan COD) menjadi paling besar. Dengan dasar inilah maka waktu tinggal 6,4 hari digunakan dalam penentuan laju alir untuk pengujian pengaruh rasio nutrisi terhadap efisiensi penurunan COD

Uji statistik menunjukkan efisiensi penurunan COD pada berbagai variasi nutrisi secara bersama-sama berbeda nyata. Rerata efisiensi penurunan COD dengan variasi rasio COD:P = 300:1, 200:1, 100:1 dan kontrol berturut-turut sebesar 60,92%, 63,02%, 71,25% dan 60,50% pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa pada variasi rasio COD:P = 100:1 kebutuhan hara terbatas bagi mikroba aerobik telah terpenuhi sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal. untuk mendegradasi senyawa organik.

Model laju biodegradasi dapat disusun berdasarkan persamaan neraca substrat sebagai berikut:

$$\text{Laju biodegradasi } r_s = \frac{0,046 X_v \cdot S_e}{665,033 + S_e} \quad \text{mg/L hari}$$

Kata kunci : Efisiensi Penurunan COD, Limbah Cair Organik, Laju Biodegradasi, Nutrien, Reaktor Aerobik, Waktu Tinggal.

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	i
DAFTAR TABEL .....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR LAMPIRAN .....	v
BAB I : PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	I-1
1.2 Perumusan Masalah .....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-3
1.4 Manfaat Penelitian .....	I-4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	II-7
2.1 Landasan Teori .....	II-7
2.2 Originalitas Penelitian .....	II-21
2.3 Hipotesis .....	II-21
BAB III : METODE PENELITIAN .....	III-22
3.1 Rancangan Penelitian .....	III-22
3.2 Ruang Lingkup Penelitian .....	III-23
3.3 Lokasi Penelitian .....	III-23
3.4 Variabel Penelitian .....	III-23
3.5 Jenis dan Sumber Data .....	III-25
3.6 Instrumen Penelitian .....	III-25



3.6 Instrumen Penelitian .....	III-25
3.7 Teknik Pengambilan Sampel.....	III-27
3.8 Teknik Pengumpulan Data .....	III-27
3.9 Teknik Analisis Data .....	III-33
3.10 Jadwal Pelaksanaan .....	III-35
 BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	IV-36
4.1 Hasil Analisa Pendahuluan.....	IV-36
4.2 Variasi Lamanya Waktu Tinggal Mempengaruhi Efisiensi Penurunan COD (%).....	IV-37
4.3 Variasi Rasio Nutrien COD : P Mempengaruhi Efisiensi Penurunan COD (%).....	IV-43
4.4 Model Laju Biodegradasi Berdasarkan Persamaan Neraca Substrat.....	IV-49
 BAB V : SIMPULAN DAN SARAN .....	V-56
5.1 Simpulan.....	V-56
5.2 Saran.....	V-57

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Konsentrasi COD Efluen PT. Rimba Partikel Indonesia.....	I-2
2. Jenis Mikroorganisma Berdasarkan Temperatur Optimum Pertumbuhannya .....	II-16
3. Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	III-35
4. Analisa Pendahuluan Limbah Cair PT. Rimba Partikel Indonesia.....	IV-36
5. Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Waktu Tinggal 3,2 Hari.....	IV-37
6. Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Waktu Tinggal 4,8 Hari.....	IV-38
7. Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Waktu Tinggal 6,4 Hari.....	IV-38
8. Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Rasio Nutrien COD : P = 300 : 1.....	IV-43
9. Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Rasio Nutrien COD : P = 200 : 1.....	IV-44
10. Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Rasio Nutrien COD : P = 100 : 1.....	IV-44
11. Hasil Perhitungan $X_v/\rho$ dan $1/Se$ Berdasarkan Data Pengamatan.....	IV-51
12. Hasil Perhitungan $1/\rho$ dan $1/Se$ Berdasarkan Data Pengamatan.....	IV-52
13. Hasil Pehitungan $X_v/\rho$ dan $1/Se$ Berdasarkan Pengamatan.....	IV-54
14. Perhitungan $r_s$ Model dan $r_s$ Obsevasi Berdasarkan Data Pengamatan.....	IV-55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alir Proses Produksi Papan Partikel.....	I-5
2. Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah Cair.....	I-6
3. Satuan Proses Pengolahan Biologis Kontinyu Tanpa Daur Ulang.....	II-13
4. Diagram Alir Langkah – Langkah Penelitian.....	III-24
5. Skema Reaktor Aerobik.....	III-26
6. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Waktu Tinggal 3,2 Hari.....	IV-39
7. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Waktu Tinggal 4,8 Hari.....	IV-40
8. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Waktu Tinggal 6,4 Hari.....	IV-40
9. Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Penurunan COD Efluen.....	IV-41
10. Efisiensi Penurunan COD Dengan Variasi Waktu Tinggal .....	IV-42
11. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Variasi Nutrien Kontrol .....	IV-45
12. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Rasio COD : P = 300 : 1 .....	IV-45
13. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Rasio COD : P = 200 : 1 .....	IV-46
14. Konsentrasi COD Influen-Efluen Pada Rasio COD : P = 100 : 1 .....	IV-46
15. Pengaruh Rasio Nutrien COD : P Dalam Berbagai Variasi Terhadap Penurunan Efisiensi COD (%) .....	IV-47
16. Grafik Hubungan VSS/ $\rho$ dan 1/Se.....	IV-51
17. Grafik Hubungan 1/ $\rho$ dan 1/Se.....	IV-53

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Oneway ANOVA untuk Variasi Waktu Tinggal 3,2 hari, 4,8 hari, dan 6,4 hari.
2. Oneway ANOVA untuk Variasi Nutrien COD  
COD : P = 300 : 1, 200 : 1, 100 : 1 dan Kontrol
3. ANOVA Plot VSS/p dan 1/Se
4. ANOVA Plot 1/p dan 1/Se
5. Perhitungan Kebutuhan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  Sebagai Nutrien Phosphat (P)
6. Reaktor Aerobik dan Alat-alat

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Pembangunan industri diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan bagi masyarakat. Namun bila dalam perumusan kebijakan pembangunan industri tidak memasukkan unsur-unsur pertimbangan yang berorientasi pada lingkungan, maka tiga unsur pokok dalam ekosistem yaitu air, udara dan tanah akan mengalami penurunan kualitas yang mungkin substansial sebagai akibat pencemaran oleh limbah industri.

Papan partikel sejenis papan lembaran dibuat dari bahan dasar potongan-potongan kayu kecil ditambah bahan perekat dan bahan organik lainnya. Menurut Sutikno P dan A. Santoso 1996 pada prinsipnya pembuatan papan partikel adalah penghancuran kayu, pengayakan kayu, pencampuran serbuk kayu dengan bahan perekat dan bahan kimia lainnya, pelapisan serbuk kayu, pengepresan dingin, pengepresan panas dan selanjutnya pemotongan produk. Kandungan material yang ada pada papan partikel adalah kayu 83%, air 7% dan 10% bahan perekat. Bahan perekat yang biasa digunakan terdiri dari urea formaldehida, phenol formaldehida dan melamin. Ditinjau dari proses pembuatan papan partikel ( lihat gambar 1), limbah yang dihasilkan dibedakan menjadi dua jenis yaitu limbah padat dan limbah cair.

Limbah padat berupa serbuk kayu yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, sedangkan limbah cairnya sebagian besar terdiri dari limbah organik dengan nilai COD yang tinggi. Sehingga jika limbah cair langsung dibuang ke badan air akan menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air. Bila hal ini dibiarkan akan menimbulkan kondisi septik dan bau busuk yang akan mengganggu masyarakat dari segi estetika dan kesehatan.

Pengolahan limbah menjadi semakin penting tidak hanya untuk mencegah pencemaran tetapi juga untuk memenuhi standar baku mutu yang semakin lama semakin

ketat. Berbagai upaya dilakukan untuk mendapatkan sistem pengolahan dengan kinerja terbaik dan dengan biaya seminimal mungkin.

Berdasarkan karakteristik limbah cair industri papan partikel bersifat biodegradable, yaitu sifat air buangan yang secara alami mudah/dapat diuraikan oleh jasad renik /mikroorganisma. Pengolahan limbah cair yang bersifat biodegradabel paling ekonomis dengan cara biologis. PT Rimba Partikel Indonesia di Kabupaten Kendal mengolah limbah cairnya menggunakan proses biologis anaerobik – aerobik yang dioperasikan secara seri, dimana limbah cair ditampung dalam bak equalisasi kemudian dialirkan ke bak anaerobik dengan debit aliran 20-30 lt/menit selanjutnya limbah cair dialirkan ke bak semi aerobik. Limbah cair dari unit semi aerobik di pompa ke unit aerobik, selanjutnya ke bak sedimentasi kemudian ke bak oksidasi dan akhirnya baru dialirkan ke saluran/badan air. Diagram alir proses pengolahan limbah cair dapat dilihat pada gambar 2. Pada unit pengolahan anaerobik perusahaan menggunakan waktu tinggal 3 hari dan penambahan SP 36 sebanyak 1 kg/hari. Sedangkan pada unit aerobik perusahaan menggunakan sistem floating aerator, dengan waktu tinggal 2,7 hari dan penambahan SP 36 sebanyak 1 kg/hari. Data perusahaan menunjukkan bahwa IPAL belum beroperasi secara optimal, ditunjukkan dengan tabel dibawah ini.

Tabel 1. Data Konsentrasi COD Efluen PT Rimba Partikel Indonesia.

No	Bulan	Konsentrasi COD efluen (mg/l)
1.	Januari 2004	222
2	Desember 2003	226
3	November 2003	229
4.	Oktober 2003	250
5	September 2003	270
6	Agustus 2003	300

Sumber data : Laporan Bulanan PT Rimba Partikel Indonesia

Bila ditinjau dari baku mutu limbah cair yang telah ditetapkan berdasarkan SK Gubernur Jawa Tengah no 660.1/02/1997 untuk limbah cair industri papan partikel konsentrasi COD efluen 225mg/l, pengolahan limbah cair IPAL PT Rimba Partikel Indonesia masih diatas baku mutu sehingga perlu diuji kinerja pengolahan limbah cair IPAL tersebut untuk mendapatkan efisiensi proses pengolahan limbah yang optimum.

Sebagai upaya agar kinerja proses pengolahan limbah cair papan partikel secara aerobik dapat berjalan efektif perlu diketahui waktu tinggal yang optimal serta penambahan unsur hara terbatas yang tepat, sehingga didapat konsentrasi efluen COD dibawah baku mutu yang telah ditetapkan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

- 1.2.1 Belum diketahui pengaruh waktu tinggal yang optimal terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD pada kinerja pengolahan limbah cair industri papan partikel secara aerobik. .
- 1.2.2 Belum diketahui pengaruh penambahan nutrien COD : P yang tepat terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD yang optimum pada kinerja pengolahan limbah cair industri papan partikel secara aerobik
- 1.2.3 Belum diketahui kinetika laju biodegradasi pada kinerja pengolahan limbah cair industri papan partikel secara aerobik.

## **1.3 Tujuan Penelitian.**

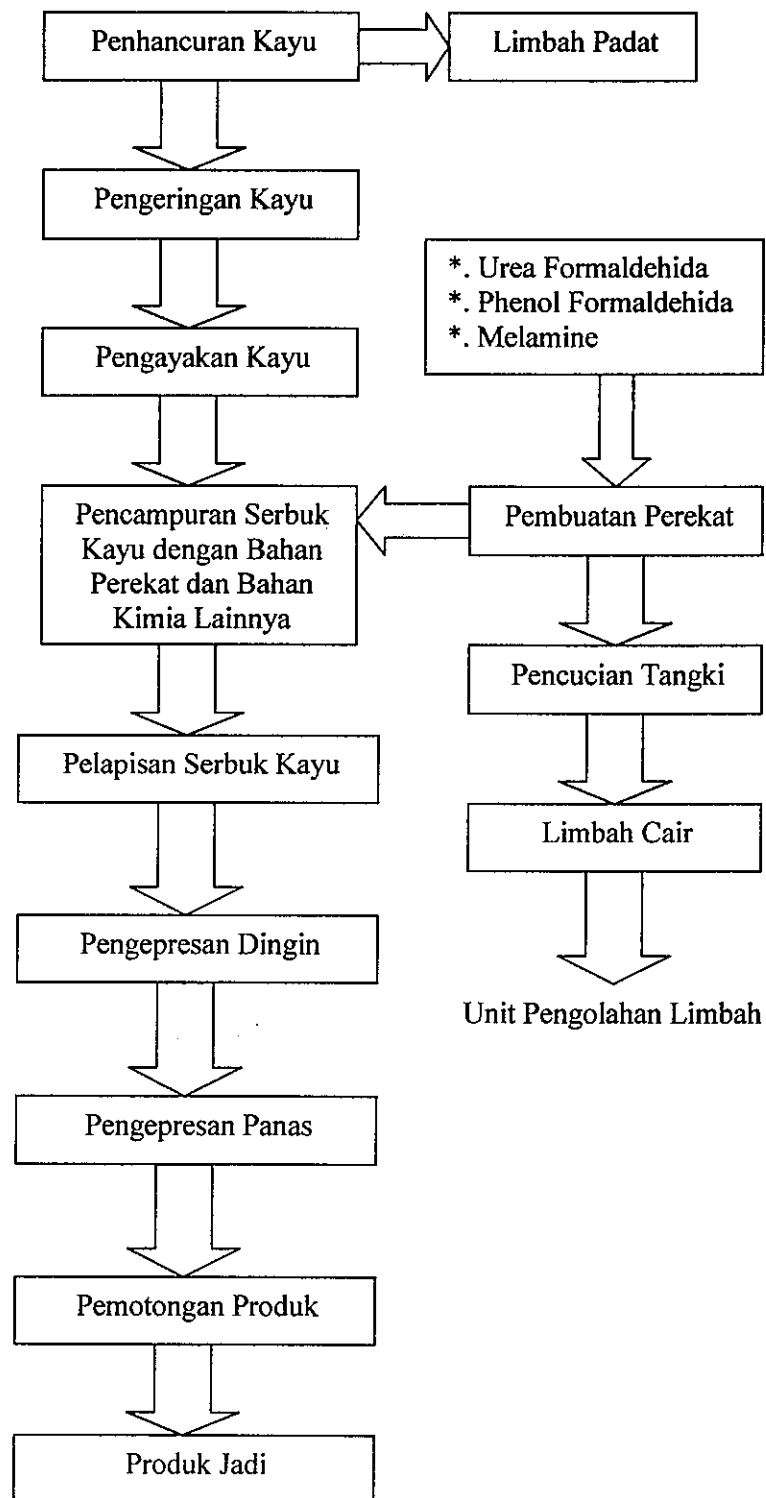
- 1.3.1 Mengetahui pengaruh waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD yang optimum pada kinerja pengolahan limbah cair industri papan partikel secara aerobik.

- 1.3.2 Mengetahui pengaruh rasio penambahan nutrien COD : P terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD yang optimum pada kinerja pengolahan limbah cair industri papan partikel secara aerobik.
- 1.3.3 Mengetahui kinetika laju biodegradasi pengolahan limbah cair industri papan partikel secara aerobik..

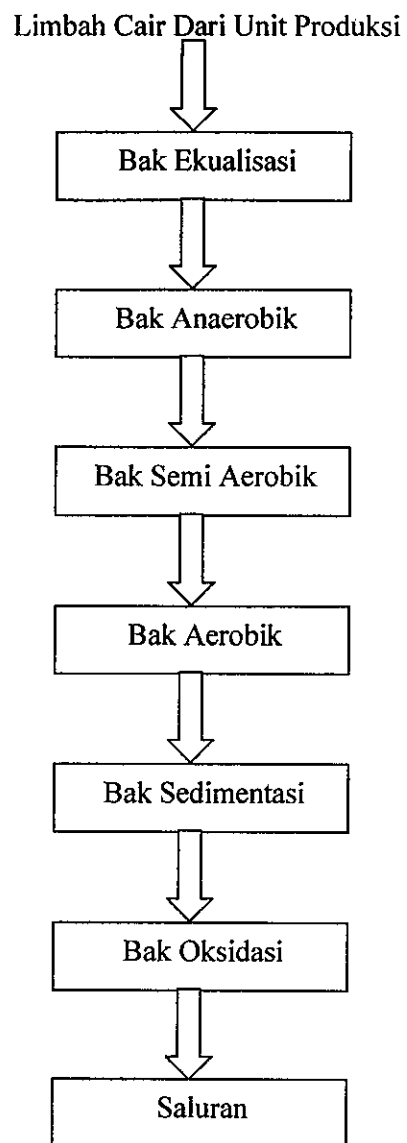
#### **1.4. Manfaat Penelitian.**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sumber informasi kinerja reaktor aerobik yang terbaik untuk pengolahan limbah cair industri partikel board sehingga efluen yang dihasilkans dibawah baku mutu yang ditetapkan.





Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi Papan Partikel



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Limbah Cair (IPAL)  
PT. Rimba Partikel Indonesia

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori.**

##### **2.1.1 Tinjauan Umum Pembuatan Papan Partikel**

Papan Partikel sejenis papan lembaran dibuat dari bahan dasar potongan-potongan kayu kecil ditambah bahan perekat dan bahan organik lainnya. Menurut Sutikno P dan A. Santoso 1996 pada prinsipnya pembuatan papan partikel adalah penghancuran kayu, pengeringan kayu, pengayakan kayu, pencampuran serbuk kayu dengan bahan perekat dan bahan kimia lainnya, pelapisan serbuk, pengepresan dingin, pengepresan panas dan selanjutnya pemotongan produk. Kandungan yang ada pada papan partikel adalah kayu 83%, air 7% dan 10% bahan perekat dan bahan kimia lainnya. Bahan perekat yang biasa digunakan terdiri dari urea formaldehida, phenol formaldehida dan melamin. Macam perekat yang dipakai mempengaruhi ketahanan papan partikel terhadap kelembaban, yang selanjutnya menentukan penggunaannya. Sebagai contoh penggunaan perekat urea formaldehida yang kadar formaldehidanya tinggi akan menghasilkan papan partikel yang keteguhan rekat internalnya lebih baik tetapi emisi formaldehidanya jelek.

##### **2.1.2 Karakteristik Limbah Cair Papan Partikel .**

Dari hasil analisa awal limbah cair papan partikel diperoleh nilai perbandingan  $BOD_5/COD = 0,30$ . Nilai ini menunjukkan limbah cair industri papan partikel bersifat biodegradable sehingga dapat diolah secara biologis (Alaerts dan Sumestri S , 1984).

### 2.1.3. Pengantar Teknologi Pengolahan Limbah cair

Pengolahan limbah cair terutama ditujukan untuk mengurangi kandungan bahan pencemar di dalam air limbah, seperti senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam. Proses pengolahan dilakukan sampai batas tertentu sehingga limbah cair tidak mencemarkan lingkungan hidup.

Pengolahan limbah cair dapat dibagi atas lima tahap pengolahan, yaitu:

1. Pengolahan awal (pre treatment)
2. Pengolahan tahap pertama ( primary treatment)
3. Pengolahan tahap kedua (secondary treatment)
4. Pengolahan tahap ketiga (tertiary treatment)
5. Pengolahan lumpur ( sludge treatment)

Tahap tersebut dimaksud untuk memudahkan dalam mengkatagorikan dan melaksanakan pengolahan sesuai dengan beban dan kandungan suatu limbah cair.

#### Pengolahan Awal dan Tahap Pertama

Tujuan dari pengolahan awal dan tahap pertama adalah untuk meminimalkan variasi konsentrasi dan laju alir limbah cair juga untuk menghilangkan zat pencemar tertentu. Terhadap beberapa jenis limbah cair perlu diberikan pengolahan awal untuk menghilangkan zat pencemar yang tak terbiodegradasi atau beracun agar tidak mengganggu proses-proses selanjutnya.

Pengolahan awal dan tahap pertama dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Pengurangan padatan tersuspensi.
2. Pengurangan minyak.

### Pengolahan Padatan Tersuspensi.

Pengolahan padatan tersuspensi dapat dilakukan dengan berbagai cara tetapi pemilihannya harus diintegrasikan dengan proses secara keseluruhan. Proses yang biasa digunakan untuk pengolahan padatan tersuspensi termasuk: penyaringan (screening), pengendapan secara gravitasi, flotasi dan sistem mekanik (sentrifugasi). Dalam proses-proses tersebut kadangkala diperlukan bahan kimia tambahan untuk meningkatkan efisiensi proses.

Penyaringan, alat yang biasa digunakan dalam proses penyaringan adalah:

- \* penyaring kasar (coarse screen), digunakan untuk memisahkan padatan yang berukuran relatif besar sehingga dapat menjaga peralatan dalam pengolahan dialiran hilir.
- \* penyaring halus (fine screen) digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi dalam limbah cair dengan jumlah yang signifikan

Sedimentasi, untuk menghilangkan partikulat, padatan koloid dan suspensi flokulan. Pertimbangan dalam desain meliputi : luas penampang bak, waktu tinggal, ke dalaman, dan laju alir. Efisiensi pengendapan dipengaruhi oleh karakteristik limbah cair dan padatan tersuspensi, jumlah bak, variasi aliran, pengoperasian, dan pemeliharaan.

Sentrifugasi, proses ini biasanya diaplikasikan pada limbah cair yang mempunyai konsentrasi padatan tersuspensi tinggi. Alat sentrifugasi yang umum digunakan adalah :

- \* perforated basket sangat baik jika digunakan untuk memisahkan padatan kasar
- \* imperforated basket dan solid bowl dipakai untuk memisahkan padatan halus dan kasar
- \* disk digunakan pada pemisahan padatan halus.

Dalam proses-proses tersebut penambahan bahan kimia tertentu dapat dilakukan untuk meningkatkan unjuk kerja proses. Rancangan unit sentrifugasi didasarkan pada laju umpan padatan, ukuran partikel, massa jenis padatan, konsentrasi umpan, temperatur, dan bahan-bahan kimia tambahan

.Filtrasi, proses filtrasi yang umum dilakukan adalah dengan menggunakan media granular, tanah diatome, juga dengan cara untrafiltrasi. Penyaring halus seperti microscreen, merupakan alternatif. Filter dengan media granular dapat mengurangi pembebanan padatan tersuspensi sehingga paling banyak digunakan dalam sistem pengolahan limbah cair.

### Pengolahan Minyak

Dalam pengolahan industri yang menghasilkan minyak, minyak adalah komponen limbah yang harus diolah atau disisihkan. Jika tidak diolah, minyak dalam limbah dapat terakumulasi pada salah satu unit pengolah limbah sehingga dapat menurunkan performance sistem pengolah limbah secara keseluruhan.

Pemilihan teknik pemisahan minyak yang akan digunakan bergantung pada kondisi campuran minyak dan air dalam limbah. Karakter limbah berminyak yang akan diolah harus ditentukan terlebih dahulu sebelum penentuan cara pengolahan yang tepat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi desain alat pemisah minyak adalah :

- 1) Banyaknya kandungan minyak dalam limbah
- 2) Distribusi ukuran tetesan minyak
- 3) Keberadaan surfaktan atau zat kimia pengemulsi
- 4) Specific gravity minyak
- 5) Specific gravity limbah
- 6) Temperatur minyak
- 7) Konsentrasi padatan tersuspensi.

#### 2.1.4 Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis Aerobik.

Pengolahan limbah cair secara biologis termasuk dalam pengolahan tahap kedua. Proses biologis merupakan proses alami yang bersifat dinamis dan kontinyu selama faktor-faktor yang berhubungan dengan kebutuhan mikroba yang bersangkutan terpenuhi. Oleh karena itu faktor biotik ataupun faktor abiotik harus selalu diperhatikan agar mikroba tersebut dapat berkembang secara baik sehingga mencapai hasil yang maksimal .

Tujuan pengolahan tahap kedua adalah untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan senyawa organik atau anorganik dalam suatu limbah cair. Fungsi ini dapat dicapai dengan bantuan aktifitas mikroorganisma gabungan (mixed culture) yang heterotropik. Mikroorganisma mengurangi konsumsi bahan-bahan organik untuk membentuk biomassa sel baru serta zat-zat organik dan memanfaatkan energi yang dihasilkan dari reaksi oksidasi untuk metabolismenya.

Mikroorganisma dalam proses biologis akan sangat tergantung pada zat organik yang terdapat dalam limbah cair. Apabila zat organik yang tersedia kurang mencukupi, maka mikroorganisma akan menopang hidupnya dengan mengkonsumsi protoplasma. Proses ini dikenal dengan respirasi endogen (endogenous respiration). Jika kekurangan zat organik ini berlangsung terus, mikroorganisma akan mati kelaparan atau mengkonsumsi seluruh protoplasma hingga yang tersisa adalah residu organik yang relatif stabil

Proses biologis untuk mengolah limbah cair, jika ditinjau dari pemanfaatan oksigennya, dapat dikelompokkan ke dalam empat kelompok utama, yaitu:

- 1) proses aerobik
- 2) proses anaerobik
- 3) proses anoksid, dan
- 4) kombinasi antara proses aerobik dengan salah satu proses diatas.

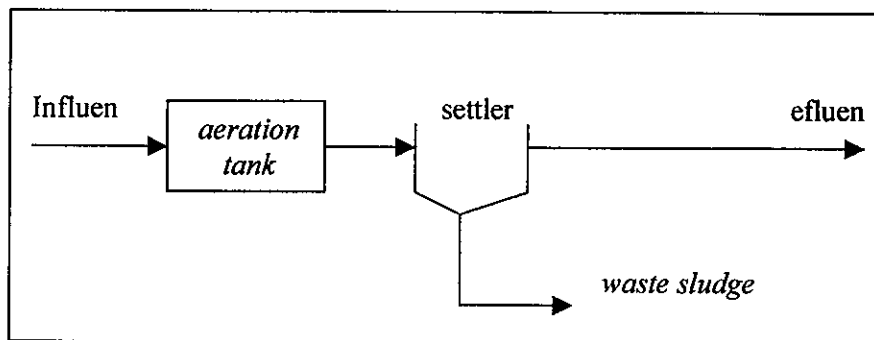
Masing-masing proses ini masih dibedakan lagi bertalian dengan apakah pengolahan dicapai dalam sistem pertumbuhan tersuspensi, sistem pertumbuhan yang menempel pada media inert yang diam atau kombinasi keduanya. Disamping itu proses biologis dapat pula dikelompokkan atas dasar proses operasinya. Ada tiga macam proses yang termasuk dalam proses pengelompokkan ini yaitu:

- 1) proses kontinyu dengan atau tanpa daur ulang,
- 2) proses batch, dan
- 3) proses semi batch.

Proses kontinyu biasa digunakan untuk pengolahan aerobik limbah cair domestik dan industri, sedangkan proses batch atau semi batch lebih banyak digunakan untuk sistem anaerobik.

Sistem lumpur aktif termasuk salah satu jenis pengolahan biologis, dimana mikroorganismanya berada dalam pertumbuhan tersuspensi. Prosesnya bersifat aerobik, artinya memerlukan oksigen untuk reaksi biologisnya. Kebutuhan oksigen dapat dipenuhi dengan cara mengalirkan udara atau oksigen murni ke dalam reaktor biologis, sehingga cairan reaktor (mixed liquor) dapat melarutkan oksigen lebih besar dari 2,0 mg/liter. Jumlah ini merupakan kebutuhan minimum oksigen yang diperlukan oleh mikroba di dalam lumpur aktif. Di dalam sistem biologis ini, mikroorganisma hidup dan tumbuh secara koloni dan membentuk gumpalan-gumpalan kecil (flocs) yang mudah mengendap. Dalam keadaan tersuspensi, koloni ini menyerupai lumpur sehingga disebut lumpur aktif (activated sludge). Kata "aktif" menunjukkan bahwa lumpur dapat mereduksi substrat (polutan), juga mempunyai permukaan yang dapat menyerap substrat secara aktif. Secara prinsip proses lumpur aktif tanpa daur ulang dilukiskan dalam gambar dibawah ini





Gambar 3. Satuan Proses Pengolahan Biologis Kontinyu Tanpa Daur Ulang

Limbah dialirkan ke dalam reaktor biologis dimana mikroorganisma berada dalam keadaan tersuspensi. Di dalam reaktor, konsentrasi zat organik akan berkurang karena adanya aktifitas mikroorganisma. Kondisi aerobik dicapai dengan aerasi yang juga berfungsi untuk menjaga agar lumpur senantiasa tersuspensi dengan baik. Secara kontinyu, keluaran dari reaktor (overflow) dialirkan ke tangki pengendap, untuk memisahkan fraksi padat dan cair. Pemisahan fraksi padat ini dilakukan secara gravitasi, karena berat jenis padatan lebih besar daripada air.

Pertumbuhan mikroba yang ada didalam reaktor aerobik akan sangat menentukan efisiensi penyisihan substrat. Pertumbuhan disebut juga sebagai sintesa biomassa dilanjutkan dengan kenaikan komponen tertentu seperti ATP (Adenosin Tri Pospat). Pertumbuhan massa bukan ukuran yang tepat untuk menentukan pertumbuhan, karena pertumbuhan massa bisa juga termasuk peristiwa akumulasi dan penyimpanan di dalam sel, kadang-kadang terdapat kenaikan berat tanpa terjadi pertumbuhan yang nyata.

Menurut Kusdiyantini et al (2002), pertumbuhan kultur mikroba terjadi proses secara simultan yaitu fase permulaan, fase pertumbuhan dipercepat, fase logaritma, fase

pertumbuhan yang mulai terhambat, fase stationer yang maksimum serta fase kematian yang dipercepat dan fase kematian log.

- \* Fase permulaan, pada fase ini mikroba baru menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru. Berbagai macam enzim dan zat perantara dibentuk sehingga keadaannya memungkinkan terjadinya pertumbuhan lebih lanjut. Sel-sel mulai membesar tetapi belum membelah diri.
- \* Fase pertumbuhan yang dipercepat, pada fase ini mikroba mulai membelah diri, tetapi waktu generasinya masih panjang. Waktu pertumbuhan yang dipercepat bersama dengan fase permulaan sering disebut "*lag phase*" atau "*phase of adjustment*"
- \* Fase pertumbuhan logaritma, pada fase ini kecepatan pembelahan paling tinggi, waktu generasi paling pendek dan konstan. Selama fase ini metabolisme paling cepat, jadi sintesis bahan sel sangat cepat dan konstan. Keadaan ini berlangsung terus sehingga salah satu atau beberapa nutrisi habis atau terjadi penimbunan hasil-hasil metabolisme yang bersifat racun dan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan. Untuk mikroba aerobik, oksigen antara lain sebagai pembatasnya.
- \* Fase pertumbuhan yang terhambat, pada fase ini kecepatan pembelahannya akan kurang dan jumlah mikroba yang mati bertambah banyak. Hal ini disebabkan makin berkurangnya nutrisi dan mulai terjadi penimbunan racun-racun sebagai hasil kegiatan metabolisme. Dengan penambahan nutrisi dan penetralan hasil-hasil yang bersifat racun fase logaritma dapat diperpanjang.
- \* Fase stasioner yang maksimum, adanya penurunan kadar nutrisi dan meningkatnya penimbunan zat-zat racun menghambat terhadap kecepatan pembelahan. Selain itu jumlah mikroba yang mati juga meningkat. Pada fase ini jumlah mikroba yang dihasilkan dari pembelahan sama dengan jumlah mikroba yang mati., sehingga jumlah mikroba yang

hidup akan konstan. Semakin peka mikroba terhadap faktor-faktor pertumbuhan dan perubahan-perubahan semakin pendek fase ini.

- \* Fase kematian yang dipercepat dan fase kematian logaritma, kedua fase ini biasanya dinyatakan sebagai satu fase yang disebut fase menurun. Pada fase ini kecepatan kematian meningkat terus menerus sedang kecepatan pembelahan menjadi nol. Setelah sampai ke fase kematian logaritma kecepatan kematian menjadi maksimal, jumlah sel menurun menurut deret ukur.

Banyak modifikasi telah dilakukan terhadap system lumpur aktif, tetapi secara keseluruhan sistem pengolahan dengan lumpur aktif memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Menggunakan lumpur mikroorganisma
2. Terjadinya pengendapan lumpur dalam tangki pengendap
3. Lumpur mikroorganisma didaur ulang sebagian dari tangki pengendap ke aerator aerasi, kecuali pada reaktor aliran yang teraduk (continuous stirred tank), kadang-kadang mikroorganisma tidak perlu di daur ulang.
4. Kinerja pengolahan dengan lumpur aktif bergantung pada waktu tinggal sel rata-rata di dalam reaktor (mean cell residence time)

Keunggulan proses pengolahan air limbah dengan lumpur aktif antara lain:

- ~ air olahan jernih, cerah dan tidak berbau.
- ~ selama proses berjalan tidak menimbulkan bau yang tidak enak.
- ~ menghasilkan efluen dengan kualitas yang lebih baik.
- ~ memberikan respon yang lebih cepat terhadap tindakan kontrol.
- ~ pengelolaan sangat mudah.
- ~ biaya operasi rendah
- ~ cocok digunakan untuk mengolah air limbah dalam jumlah besar

Kerugian proses lumpur aktif:

- lumpur yang dihasilkan banyak
- agak sensitif terhadap perubahan kualitas dan kuantitas air

### 2.1.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengolahan Lumpur Biologis

Pengolahan limbah cair secara aerobik dengan menggunakan lumpur biologis dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya : temperatur, oksigen, pH, nutrien, komposisi mikroorganisma, amonia, sulfida, logam berat dan senyawa phenol.

#### 1. Temperatur.

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisma terutama mikroba pada proses kerja enzim yang berperan dalam mensintesis bahan organik terlarut dalam limbah cair. Kenaikkan temperatur akan mengakibatkan kenaikan laju pertumbuhan mikroorganisma. Hal ini akan mempercepat laju reaksi penguraian senyawa organik oleh mikroorganisma tersebut. Setiap mikroorganisma mempunyai temperatur optimum yang berbeda untuk pertumbuhannya.

Balley dan Ollis dalam Setiadi (2001), membagi kelompok mikroorganisma menurut temperatur optimumnya seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 2. Jenis mikroorganisma berdasarkan temperatur optimum pertumbuhannya

Jenis mikroorganisma	Rentang temperatur (°C)	Temperatur optimum (°C)
Chryophillic	2-20	12-18
Mesophillic	20-45	25-40
Thermophillic	45-75	55-65

Pengaruh temperatur ini penting dalam proses aerobik karena adanya interaksi populasi. Sebagai contoh spesies mikroba yang berbeda akan memberikan tanggapan terhadap perubahan temperatur yang secara kualitatif sama tetapi secara kuantitatif berbeda.

Menurut Eckenfelder, W.W. (2000), temperatur optimal dalam proses lumpur biologis untuk pertumbuhan mikroba adalah 28-36°C.

## **2. Oksigen**

Karena proses pengolahan limbah cair dalam penelitian ini dilakukan secara aerobik, maka oksigen dibutuhkan oleh mikroorganisma untuk mengoksidasi senyawa organik yang terdapat dalam limbah cair. Selain itu oksigen juga digunakan untuk membentuk flok-flok, serta menjaga lumpur aktif dalam keadaan tersuspensi dan mencegah pengendapan. Dengan demikian kondisi udara selama waktu aerasi harus selalu dijaga dan dipelihara.

## **3. Nutrien**

Dalam kehidupannya mikroorganisma membutuhkan nutrien untuk menunjang pertumbuhannya. Mikroba terdiri dari bermacam-macam jenis, dan masing-masing jenis berbeda dalam sifat fisiologisnya, karena itu kebutuhan akan nutrien juga berbeda. Untuk pengolahan limbah cair secara biologis aerobik rasio COD:N:P = 100:5:1 yang tepat sangat dianjurkan (Droste R.L 1997). Untuk aktivitas pertumbuhan mikroba elemen-elemen ini harus ada dan mencukupi, kekurangan atau ketidakhadiran senyawa-senyawa ini dapat menghambat rate pertumbuhan mikroba (Kusdiyantini, 2002).

Dhanang (2000) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan nutrien (P) terhadap daya tampung sungai Babon yang dilakukan dalam reaktor sistem kontinyu secara

aerobik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persen penurunan COD semakin besar dengan penambahan nutrisi fosfat (P)

#### **4. Komposisi Mikroorganisma**

Komposisi mikroorganisma dalam lumpur biologis sangat menentukan proses pengolahan yang dilakukan. Apabila populasi mikroorganisma banyak dapat menyebabkan senyawa organik dalam lumpur biologis cepat habis dan sebaliknya, jika populasi mikroorganisma sedikit senyawa organik yang ada lebih lambat habisnya.

#### **5. Derajat keasaman (pH)**

Konsentrasi ion hidrogen merupakan parameter penting pengolahan limbah cair secara biologis aerobik, karena pH lingkungan sangat berpengaruh dalam pertumbuhan mikroorganisma. (Kusdiyantini, 2002). Derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel mikroorganisma. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan mikroorganisma antara 7-7,8. Pengaturan pH dalam lumpur biologis menggunakan susu kapur atau asam sulfat.

#### **6. Ammonia**

Hampir semua limbah mengandung protein, jika protein terdegradasi maka senyawa nitrogen akan terbebaskan sebagai ammonia. Proses ini bergantung pada pH sistem. Ammonia bebas akan bersifat toksik pada konsentrasi 150 mg/l, sedangkan jika dalam bentuk ion ammonia baru akan bersifat toksik pada konsentrasi lebih dari 3000mg/l. Pada pH sekitar 7,2 atau kurang, ammonia sebagian besar berada dalam bentuk ion ammonium dan bersifat toksik pada konsentrasi total ammonia 3.000 mg/l.

## 7. Sulfida

Sulfida yang terdapat dalam umpan dari degradasi protein. Pada konsentrasi 200 mg/l, larutan Sulfida merupakan hasil reduksi sulfit akan menghambat metabolisme mikroba. Hanya sulfit yang terlarut yang memberikan efek toksik, karena larutan tersebut dapat masuk ke dalam sel.

## 8. Logam Berat

Logam berat bersifat racun terhadap populasi mikroba aerobik pada konsentrasi yang sangat rendah. Fenomena ini terjadi jika dan hanya jika logam berat tersebut berada dalam bentuk larutan. Konsentrasi logam berat dapat dikurangi dengan presipitasi ion sulfit. Kadar sulfit yang dibutuhkan untuk berpresipitasi dengan logam berat adalah 0,5 mg/l sulfit per mg logam berat

## 9. Senyawa Phenol

Senyawa phenol merupakan zat anti mikrobial (merusak membran sel) sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba (Pelczar, M.J. Jr & E.C.S. Chan. 1981), dan beracun untuk semua kehidupan di air (Anonymous, 1987).

### 2.1.6 Persamaan Kinetika Reaksi

Model laju biodegradasi didekati dengan penyusunan persamaan berdasarkan penurunan konsentrasi COD terhadap waktu dengan asumsi sebagai berikut:

1. Sistem reaktor pencampuran sempurna tanpa recycle, pengamatan dilakukan pada kondisi tunak (steady state)

2. Reaksi seragam pada semua titik, dimana laju pembentukan dan penguraian intermediate sama, meskipun konsentrasi reaktan dan produk selalu berubah.

**Persamaan Umum neraca substrat adalah:**

**In – out + Generation = Accumulation**

$$QS_0 - QS_e + r_s V = \frac{dS_e}{dt} V = 0$$

$$r_s = -\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} = -\frac{S_0 - S_e}{\theta_d} = -\rho$$

$$-\frac{kS_e}{K + S_e} = -\frac{S_0 - S_e}{\theta_d}$$

$$r_s = -\frac{kX_v S}{K + S}$$

$$\frac{X_v}{\rho} = \frac{X_v \theta_d}{(S_0 - S_e)} = \frac{K}{k} \frac{1}{S_e} + \frac{1}{k}$$

Keterangan :

$S_0$  = konsentrasi COD influen ( mg/lit)

$S_e$  = konsentrasi COD effluen ( mg/lit)

$\theta_d$  = waktu tinggal (hari)

$\rho$  = laju pengolahan limbah ( mg/lit hari)

$r_s$  = laju reaksi biodegradasi

$X_v$  = padatan yang menguap = VSS ( mg/lit).



## **2.2. Originalitas Penelitian**

Penelitian tentang pengolahan limbah cair secara aerobik memang bukan hal yang baru. Namun penelitian tentang pengolahan limbah cair industri partikel board secara aerobik sebagaimana dalam penelitian penulis belum pernah didapatkan hasil penelitian sebelumnya.

## **2.3. Hipotesis**

Berdasarkan permasalahan dan dikaitkan dengan tinjauan pustaka dapat disusun hipotesis sebagai berikut:

- 2.3.1 Variasi waktu tinggal 6,4 hari, 4,8 hari dan 3,2 hari diduga memberi pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD.
- 2.3.2 Variasi rasio COD : P sebesar 300:1, 200:1, dan 100:1 diduga memberi pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD
- 2.3.3 Model Monod diduga dapat digunakan pada pengolahan limbah cair secara aerobik

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian skala laboratorium, merupakan lanjutan penelitian satu seri anaerobik-aerobik untuk menguji kinerja reaktor aerobik IPAL PT Rimba Partikel Indonesia dengan membuktikan hipotesis pengaruh variasi waktu tinggal dan rasio nutrisi COD:P terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD serta dapat digunakannya model Monod pada pengolahan limbah cair secara aerobik. .

Sistem proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah proses kontinu. Sebelum limbah cair diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi COD terlebih dahulu dilakukan analisa pendahuluan, meliputi parameter BOD<sub>5</sub>, COD, Nitrogen total, Fosfat total dan Fenol. Analisa pendahuluan terhadap konsentrasi BOD<sub>5</sub> dan COD bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari limbah cair tersebut, sedangkan analisa Nitrogen total dan Fosfat total untuk menentukan hara terbatas yang akan digunakan untuk variasi rasio nutrisi.

Dari hasil analisa pendahuluan konsentrasi COD 1500 mg/l, konsentrasi Nitrogen total = 629,2 mg/l , dan konsentrasi Fosfat total 1,666 mg/l , dimana untuk pengolahan limbah cair yang baik dianjurkan ratio COD : N : P = 100 : 5 : 1, karena konsentrasi fosfat disini masih dibawah rasio yang dianjurkan maka fosfat sebagai hara terbatas (perhitungan penambahan fosfat dapat dilihat pada lampiran 5), sehingga untuk penelitian ini digunakan sebagai variasi rasio COD : P.

Prosedur analisa BOD<sub>5</sub>, COD, Nitrogen total, dan Fosfat total mengikuti Standart Method for Examination of Water and Wastewater. Parameter yang diamati meliputi konsentrasi COD influen – effluen dan MLVSS, sedangkan parameter yang dijaga agar tetap konstan adalah suhu, pH dan SVI

Kondisi operasi reaktor aerobik:

- Temperatur : 31°C
- pH : 7 – 8
- Volume sludge : 1/3 x volume reaktor
- Laju alir udara 15 lt/menit, diambil dari kompresor yang dioperasikan selama 24 jam dan dibagi dalam 9 bh difuser.

Langkah-Langkah Penelitian dapat dilihat pada gambar 4.

### **3.2 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini merupakan lanjutan penelitian satu seri anaerobik-aerobik, untuk mempelajari uji kinerja pengolahan limbah cair industri partikel board secara aerobik dengan waktu tinggal dan rasio nutrisi COD:P yang bervariasi serta mengetahui laju biodegradasi yang didasarkan pada persamaan neraca substrat. Proses seeding dilakukan dengan mengambil lumpur aerobik langsung dari IPAL PT Rimba Partikel Indonesia di Kabupaten Kendal untuk mempercepat proses aklimatisasi.

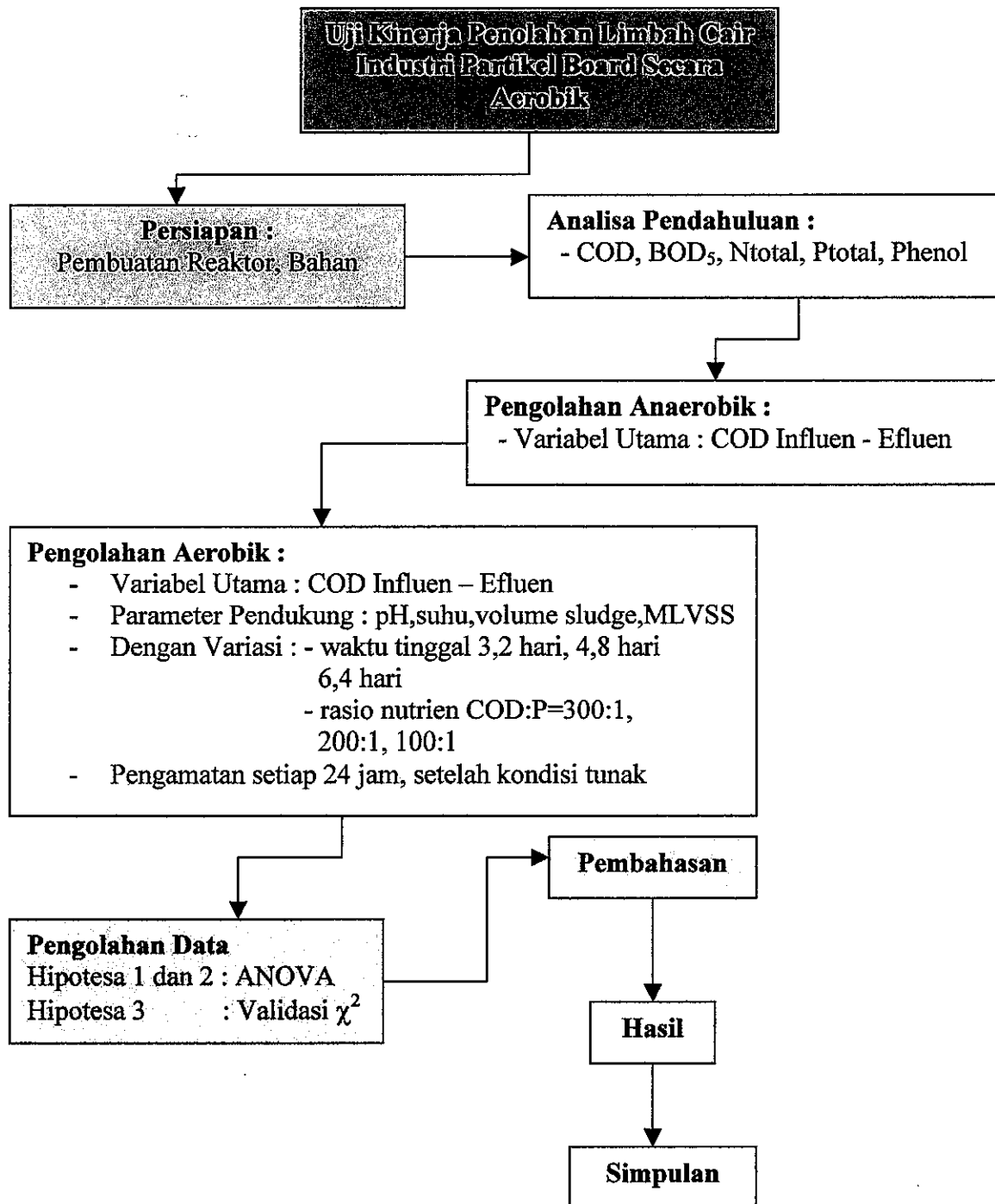
### **3.3 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia UNDIP dengan menggunakan limbah cair dari keluaran unit penelitian reaktor anaerobik.

### **3.4. Variabel Penelitian.**

#### **3.4.1. Variabel Bebas**

- Variasi waktu tinggal : 6,4 hari, 4,8 hari dan 3,2 hari.
- Variasi rasio COD:P : 300:1, 200:1 dan 100:1.



Gambar 4. Diagram Alir Langkah - Langkah Penelitian

### 3.4.2. Variabel yang diamati

- Parameter utama : konsentrasi COD
- Parameter pendukung : BOD<sub>5</sub>, N total, Fosfat total, SVI, MLVSS, Suhu, pH, Amonia, dan Fenol.

### 3.5 Jenis dan Sumber Data.

Jenis data yang digunakan dalam analisa yaitu data primer, berupa data kuantitatif yang diperoleh dari pengamatan percobaan laboratorium., serta data sekunder berupa laporan perusahaan.

### 3.6 Instrumen Penelitian

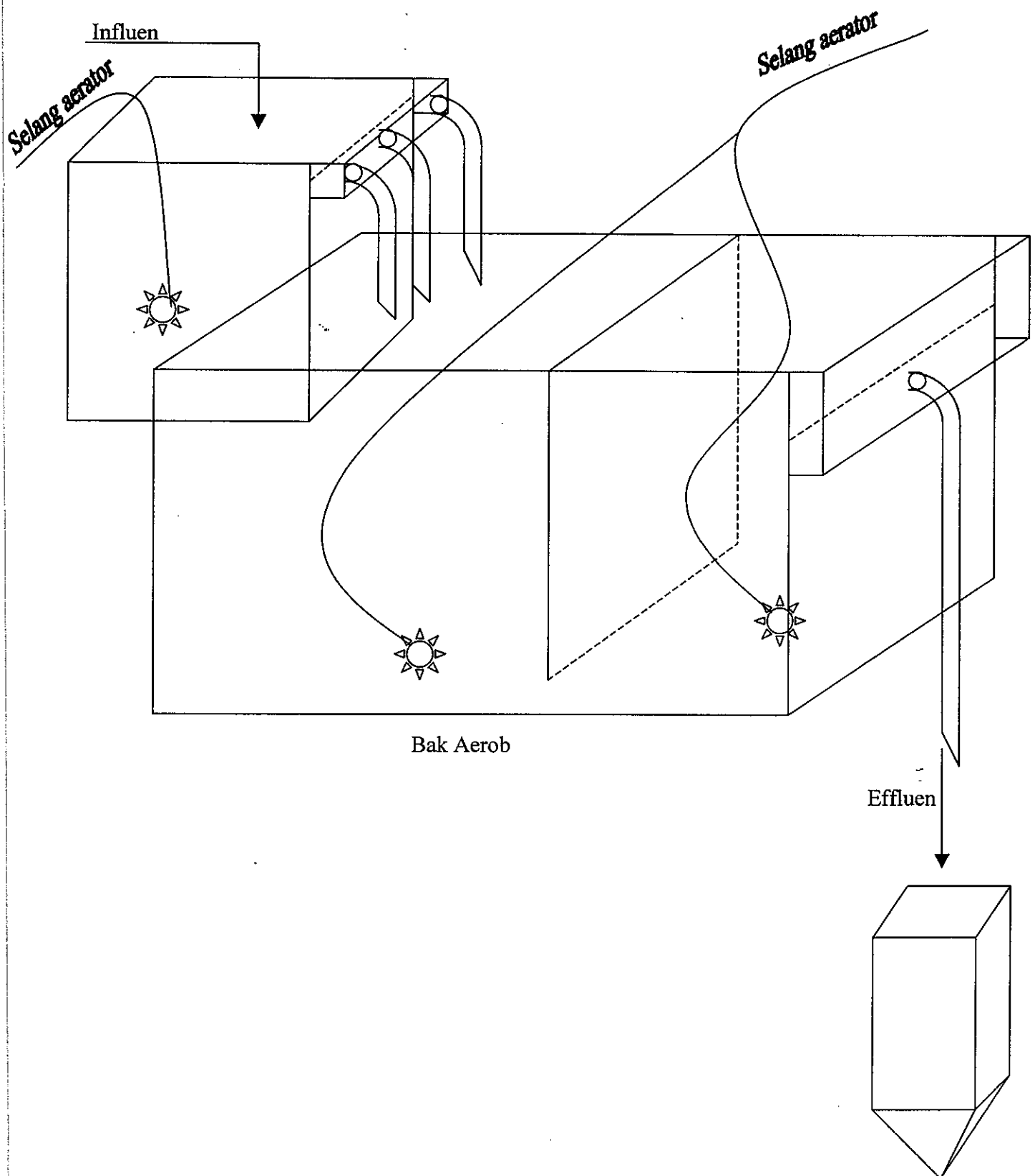
Meliputi bahan dan alat yang digunakan:

#### 3.6.1 Bahan yang digunakan:

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Aqua destilata.               | 8. Larutan Magnesium Sulfat      |
| 2. Asam sulfat pekat.            | 9. Larutan Kalsium Klorida       |
| 3. Kalium Dikromat 0,25N.        | 10. Larutan Ferri Klorida        |
| 4. Kertas saring Whatman No 42.  | 11. Larutan Mangan Sulfat.       |
| 5. Larutan ferro ammonium Sulfat | 12. Larutan Natrium Thio Sulfat. |
| 6. Indikator ferroin.            | 13. Indikator Amilum             |
| 7. Larutan Buffer Phosphat       |                                  |

#### 3.6.2 Alat yang digunakan:

1. Seperangkat reaktor aerobik seperti gambar 5, dengan alat penunjang lainnya meliputi:
  1. Beaker glas
  9. Labu takar



Gambar 5. Skema Reaktor Aerobik

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 2. Buret          | 10. Oven              |
| 3. Cawan porselin | 11. Penjepit          |
| 4. Corong         | 12. Pipet ukur        |
| 5. Desikator      | 13. Pipet tetes       |
| 6. Erlenmeyer     | 14. Tabung reaksi COD |
| 7. Furnace        | 15. Gelas ukur .      |
| 8. Klem statip    |                       |

Karakteristik reaktor adalah:

Material reaktor : kaca tebal 0,5 cm

Dimensi bak aerob I :  $P \times L \times H = 53 \text{ cm} \times 47 \text{ cm} \times 39 \text{ cm}$ , dengan volume 80lt dan volume lumpur 24 lt

Dimensi bak aerob II :  $P \times L \times H = 83,5 \text{ cm} \times 47 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$ , dengan volume 80lt dan volume lumpur 24 lt

### 3.7 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air dilakukan pada pipa influen dan pipa efluen. reaktor aerobik, dengan waktu pengambilan sampel setiap hari setelah kondisi dianggap tunak. Untuk setiap variasi pengamatan dilakukan selama 10 hari dan dianalisa konsentrasi COD nya. Prosedur analisa COD sesuai Standart Method for Examination of Water and Wastewater. Prinsip analisa : oksidasi zat organik yang ada dalam air dengan  $K_2Cr_2O_7$ .

### 3.8 Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan mencatat hasil-hasil pengamatan laboratorium, yang meliputi analisa pendahuluan dan analisa pengamatan. Parameter utama yang diamati yaitu

konsentrasi COD influen, konsentrasi COD effluen, dan parameter pendukung BOD<sub>5</sub>, N total, Fosfat total, Fenol, Amonia, pH, Temperatur, SVI, dan MLVSS.

### **3.8.1 Penentuan pH**

pH diukur menggunakan kertas pH. Kertas pH dimasukkan ke dalam reaktor aerobik, kemudian diambil diamkan 1- 10 menit selanjutnya bandingkan dengan warna yang terdapat dalam kemasan kertas pH tersebut. Pengukuran dilakukan dengan 2 kali ulangan.

### **3.8.2 Penentuan Temperatur.**

Temperatur limbah cair diukur dengan menggunakan termometer. Ambil sampel limbah cair sebanyak 30 ml, ditempatkan dalam gelas beker. Kemudian termometer dicelupkan dalam sampel dan ditunggu beberapa saat sampai angka yang terbaca konstan.

### **3.8.3 Penentuan COD.(Chemical Oxygen Demand)**

Kebutuhan oksigen kimiawi atau lebih dikenal COD (Chemical Oxygen Demand) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik baik yang mudah terurai ataupun yang sukar terurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat. Penentuan COD dilakukan berdasarkan prosedur analisa sesuai Standart Method for Examination of Water and Wastewater. Prinsip analisa : oksidasi zat organik yang ada dalam air limbah dengan Kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ).

#### **Analisa Chemichal Oxygen Demand (COD).**

##### **A. Pembuatan Reagen**

1. Larutan Kalium Dikromat 0,25N



Timbang  $K_2Cr_2O_7$  primer sebanyak 12,259 gr yang telah dikeringkan pada temperatur  $105^\circ C$  selama 2 jam, kemudian dilarutkan dengan aqua destilata sampai 1000 ml

2. Larutan Asam sulfat

Timbang  $Ag_2SO_4$  kristal sebanyak 3 gram, kemudian tambahkan  $H_2SO_4$  pekat 500 ml, dan diamkan sampai larut.

3. Larutan Ferro Amonium Sulfat 0,1N

Timbang 39,2 gram  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  dilarutkan dalam aqua destilata kemudian tambahkan  $H_2SO_4$  pekat sebanyak 20 ml. Selanjutnya dinginkan dan encerkan dengan aqua destilata sampai 1000 ml. Larutan ini harus distandardkan dengan larutan standard kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ). Larutan Ferro Amonium Sulfat ini tidak stabil karena sebagai zat pereduksi akan dioksidasi sedikit demi sedikit oleh oksigen terlarut dari udara, oleh karena itu larutan tersebut perlu distandardisasi setiap hari sebelum dan sesudah digunakan untuk analisa COD.

Standardisasi larutan Ferro Amonium Sulfat:

Gunakan beker 200 ml untuk mengencerkan 10 ml larutan standard  $K_2Cr_2O_7$  dengan air suling sampai 100 ml. Tambah kan 30 ml  $H_2SO_4$  pekat. Dinginkan, kemudian tambahkan indikator ferroin 2-3 tetes dan titrasi dengan larutan standard Ferro Amonium Sulfat sampai terjadi perubahan warna dari hijau kebiru-biruan sampai oranye kemerah-merahan.

4. Indikator Ferroin

Timbang 1,485 gr 1.10 Phenanthrolin monohidrat dan 0,695 gr  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  dicampur dengan aqua destilata sampai 100 ml.

B. Prosedur Analisa

1. Sampel limbah diencerkan 10 atau 50 kali tergantung tingkat kekeruhan.

2. Ambil 2 ml sampel yang telah diencerkan , kemudian masukkan dalam tabung COD yang telah dipanaskan pada oven 170°C selama 30 menit.
3. Ditambahkan 0,1 gr HgSO<sub>4</sub>, dan diaduk sampai homogen.
4. Ditambahkan 1 ml K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> dan 3 ml larutan asam sulfat serta diaduk sampai homogen.
5. Tabung COD ditutup, kemudian dipanaskan dengan oven selama 2 jam pada temperatur 170°C
6. Dinginkan selama 30 menit
7. Setelah dingin pindahkan dalam erlenmeyer dan tambahkan 8 ml aqua destilata
8. Tambahkan 3 tetes indikator ferroin dan dititrasi dengan larutan ferro amonium sulfat sampai terjadi perubahan warna.
9. Untuk larutan blanko analisa sama dengan prosedur diatas, tetapi sampel diganti dengan aqua destilata (air suling)

Perhitungan kadar COD dihitung dengan persamaan:

$$\text{COD (ppm)} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{V} \times \text{faktor pengenceran}$$

Dimana :

A : ml ferro amonium sulfat untuk titrasi blanko

B : ml ferro amonium sulfat untuk titrasi sampel

N : normalitas ferro amonium sulfat

V : volume sampel

### 3.8.4 Penentuan SVI

SVI atau volume lumpur (ml/l) adalah banyaknya lumpur yang dapat mengendap tiap satu liter limbah cair, selama waktu 30 menit. SVI diukur dengan mengambil satu liter limbah cair, dimasukkan dalam kerucut Imhoff. Setelah 30 menit diukur volume lumpur yang dapat mengendap (APHA, 1995).

### 3.8.5 Penentuan MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)

MLVSS atau zat padat tersuspensi volatile sebenarnya terdiri dari zat organik yang terurai akibat pemanasan, juga sedikit zat anorganik dan air kristal yang terurai. Diambil 50 ml limbah cair, kemudian disaring dengan kertas saring yang telah diketahui berat keringnya. Letakkan kertas saring tersebut di atas cawan porselin yang telah diketahui berat keringnya, kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperatur 105°C selama 1 jam. Setelah beratnya konstan ditimbang untuk mengetahui berat keringnya. Selanjutnya cawan, kertas saring dan filtrat dikeringkan dalam furnace dengan temperatur 550°C selama 10-20 menit., kemudian diamkan sampai suhu dalam furnace sama dengan suhu kamar dan ditimbang untuk mengetahui berat keringnya.

$$\text{MLVSS (mg/l)} = \frac{(a - b) \times 1000}{c}$$

a : Berat cawan dan residu sesudah pembakaran 105°C (mg)

b : berat cawan dan residu sesudah pembakaran 550°C (mg)

c : volume sampel (ml)

### 3.8.6 Analisa Biocological Oxygen Demand (BOD)

1. Mengambil limbah cair 5 ml dan diencerkan dengan air suling sampai 1 liter.

2. Kemudian limbah yang sudah diencerkan dituang ke dalam dua botol BOD yang sudah diketahui volumenya. Satu botol untuk  $BOD_0$  dan yang satunya  $BOD_5$
3. Untuk masing-masing botol ditambahkan 1 ml larutan feri klorida, 1 ml kalsium klorida, 1 ml magnesium sulfat dan 1 ml buffer fosfat.
4. Untuk analisa  $BOD_0$ , kedalam botol langsung ditambahkan larutan alkali iodine 2 ml, larutan mangan sulfat 2 ml, asam sulfat pekat 2 ml dan dikocok sampai endapan larut, kemudian pindahkan larutan tersebut dalam erlenmeyer ditambahkan 2-3 tetes indikator amilum dan dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat sampai terjadi perubahan warna dari biru menjadi jernih.
5. Untuk analisa  $BOD_5$  setelah prosedur (3), botol dimasukkan ke dalam almari pendingin selama 5 hari, kemudian lakukan seperti prosedur (4).

$$OT = \frac{a.N.8000}{V - 4}$$

keterangan

OT = Oksigen terlarut (mg  $O_2$ /lt)

a = volume titran larutan natrium tiosulfat

N = Normalitas larutan natrium tiosulfat

V = volume botol.

$$BOD_5^{20} = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

Keterangan:

$X_0$  = oksigen terlarut sample pada  $t = 0$  hari (mg  $O_2$ /lt)

$X_5$  = oksigen terlarut sample pada  $t = 5$  hari (mg  $O_2$ /lt)

$B_0$  = oksigen terlarut blanko pada  $t = 0$  hari (mg  $O_2$ /lt)

$B_5$  = oksigen terlarut blanko pada  $t = 5$  hari (mg  $O_2$ /lt)

$P$  = derajat pengenceran

### 3.9 Analisa Data

Untuk membandingkan pengaruh dari perlakuan pengolahan terhadap penurunan konsentrasi COD digunakan metoda ANOVA satu jalur. Setelah  $F$  hitung diketahui, untuk dapat menerima atau menolak hipotesis, maka membandingkan  $F$  hitung ( $F_h$ ) dengan  $F$  tabel ( $F_t$ ), apabila:

$F_h > F_t$  = ada perbedaan yang signifikan

$F_h < F_t$  = tidak ada perbedaan yang signifikan.

Atau dapat pula dengan melihat probabilitasnya, yakni

Jika probabilitas ( $\alpha$ )  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima.

Jika probabilitas ( $\alpha$ )  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak

$H_0$  : 1. Variasi waktu tinggal tidak mempengaruhi efisiensi penurunan konsentrasi COD

2. Variasi rasio nutrien COD : P tidak mempengaruhi efisiensi penurunan konsentrasi COD

$H_a$  : 1. Variasi waktu tinggal mempengaruhi efisiensi penurunan konsentrasi COD

2. Variasi rasio nutrien COD : P mempengaruhi efisiensi penurunan konsentrasi COD

Setelah diketahui ada perbedaan yang signifikan diantara ketiga variasi waktu tinggal dan ketiga variasi rasio nutrien COD:P, maka untuk mengetahui perbedaan mana yang berbeda dan mana yang tidak berbeda, masalah ini dianalisis dengan metoda LSD (Least Significant Different) atau perbedaan signifikan yang terkecil dengan rumus :

$$L.S.D.\alpha = t_{1/2 \alpha \text{ df}} \sqrt{\frac{2 S^2}{r}}$$

Keterangan:

$T_{1/2 \text{ df}}$  = merupakan besarnya t tabel

Df = derajat kebebasan yang sesuai dengan MSEE

$n = r$  = jumlah n observasi pada masing-masing kolom

$S^2$  = Mean Square of Error (MSSE)

Untuk menguji hipotesa bahwa model Monod dapat digunakan pada pengolahan limbah cair secara aerobik, maka dilakukan uji validasi. Validasi model menggunakan metoda test kai kwadrat, dan yang biasa digunakan dengan test kesesuaian (Goodness of fit), adalah

$$\chi^2 = \sum_{r=1}^n \frac{(\text{nilai observasi} - \text{nilai model})^2}{\text{nilai model}}$$

Jika :  $\chi^2 < \chi_{\alpha}^2 \rightarrow$  Model memenuhi “Goodness of fit” yang berarti  $H_0$  ditolak, dan  $H_a$  diterima

$H_0$  : Model Monod tidak dapat digunakan pada pengolahan limbah cair secara aerobik

$H_a$  : Model Monod dapat digunakan pada pengolahan limbah cair secara aerobik

### 3.10 Jadual Pelaksanaan.

Tabel 3. Jadual Pelaksanaan Penelitian

	Kegiatan	Bulan					
		Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
1.	Penelitian		X	X	X		
2.	Analisa Laboratorium		X	X	X		
3.	Pembimbingan	X	X	X	X	X	X
4.	Penyusunan Tesis				X	X	X
5.	Seminar Hasil						X
6.	Penyempurnaan Tesis					X	X
7.	Ujian Tesis						X

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Analisa Pendahuluan

Penelitian ini merupakan lanjutan penelitian satu seri anaerobik-aerobik, untuk itu limbah segar dari PT Rimba Partikel Indonesia sebelum digunakan dilakukan analisa pendahuluan hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4. Analisa Pendahuluan Limbah Cair PT Rimba Partikel Indonesia

No	Parameter	Konsentrasi (mg/l)
1.	BOD <sub>5</sub>	533
2	COD	1500 .
3	N Total	629,2
4	P Total	1,666
5	NH <sub>3</sub> -N	11,92
6.	Phenol	0,013

Sumber : Data Primer 2004

Pengambilan sampel dilakukan pada pipa effluen reaktor anaerobik yang juga merupakan pipa influen reaktor aerobik dan pada pipa effluen reaktor aerobik setelah kondisi reaktor dianggap tunak ( steady state) atau setelah satu kali waktu tinggal. Untuk masing-masing variasi , pengamatan dilakukan selama 10 hari.



#### 4.2 Variasi Lamanya Waktu Tinggal Mempengaruhi Efisiensi Penurunan COD (%)

Berdasarkan pengamatan selama penelitian didapatkan hasil efisiensi penurunan konsentrasi COD untuk ketiga variasi waktu tinggal, seperti dalam tabel-tabel dibawah ini

Tabel 5 Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Waktu Tinggal 3,2 hari  
Setelah Kondisi Tunak Dan Pengamatan Sampai Dengan 10 hari

Waktu Pengamatan (hari)	COD influen (mg/l)	COD effluen (mg/l)	Efisiensi (%)
1	856	456	46,67
2	759	380	50,00
3	756	397	47,50
4	583	320	45,16
5	546	245	55,17
6	564	263	53,33
7	607	257	57,58
8	513	220	57,14
9	530	247	53,33
10	589	268	54,55

Sumber : Data Primer 2004

Tabel. 6 Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Waktu Tinggal 4,8 hari  
Setelah Kondisi Tunak Dan Pengamatan Sampai Dengan 10 hari

Waktu Pengamatan (hari)	COD influen (mg/l)	COD efluen (mg/l)	Efisiensi (%)
1	799	380	52,50
2	698	319	54,29
3	618	299	51,61
4	496	238	52,00
5	449	195	56,52
6	445	193	56,52
7	474	197	58,33
8	449	176	60,87
9	465	194	58,33
10	479	192	60,00

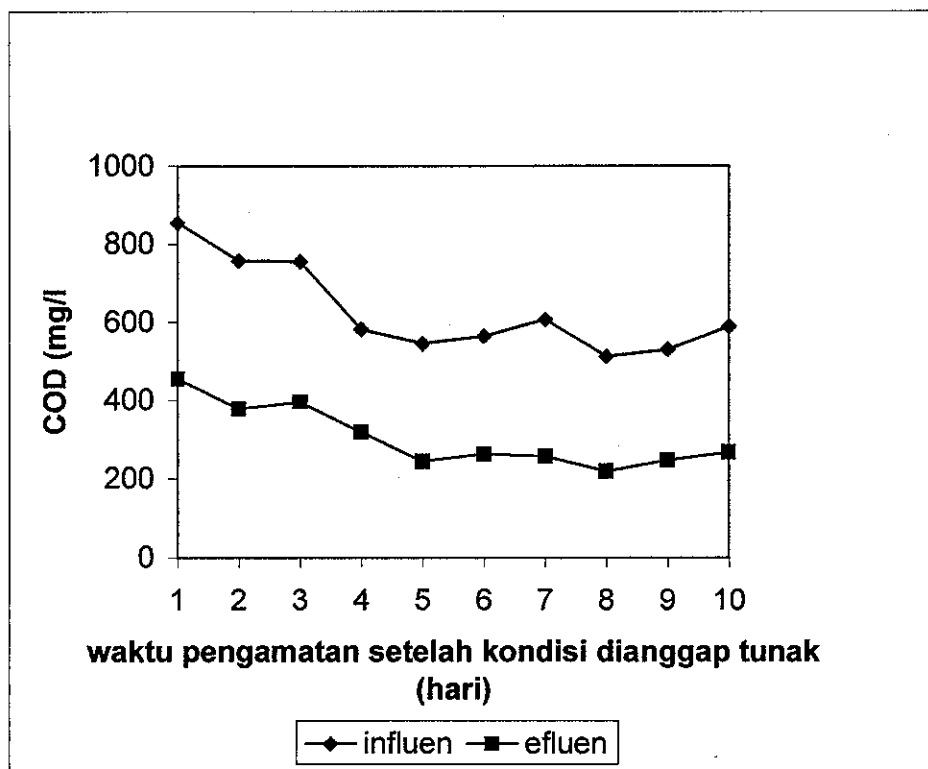
Sumber : Data Primer 2004

Tabel 7 Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Waktu Tinggal 6,4 hari.  
Setelah Kondisi Tunak Dan Pengamatan Sampai Dengan 10 hari

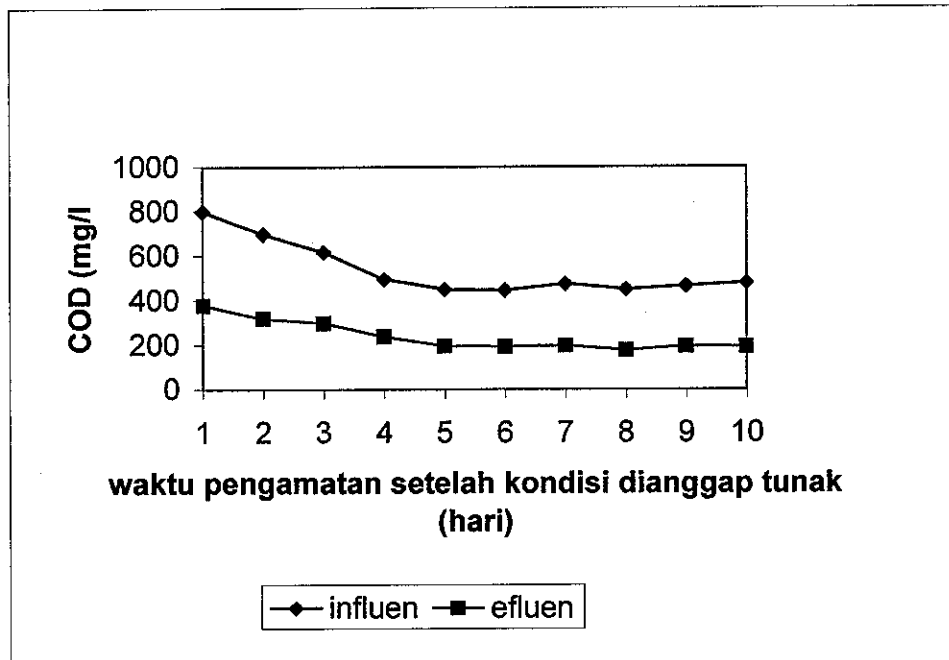
Waktu Pengamatan (hari)	COD influen (mg/l)	COD efluen (mg/l)	Efisiensi (%)
1	754	316	58,14
2	606	242	60,00
3	533	241	54,84
4	428	188	56,00
5	427	171	60,00
6	443	171	61,54
7	436	158	63,64
8	435	158	63,64
9	415	158	61,90
10	454	158	65,22

Sumber : Data Primer 2004

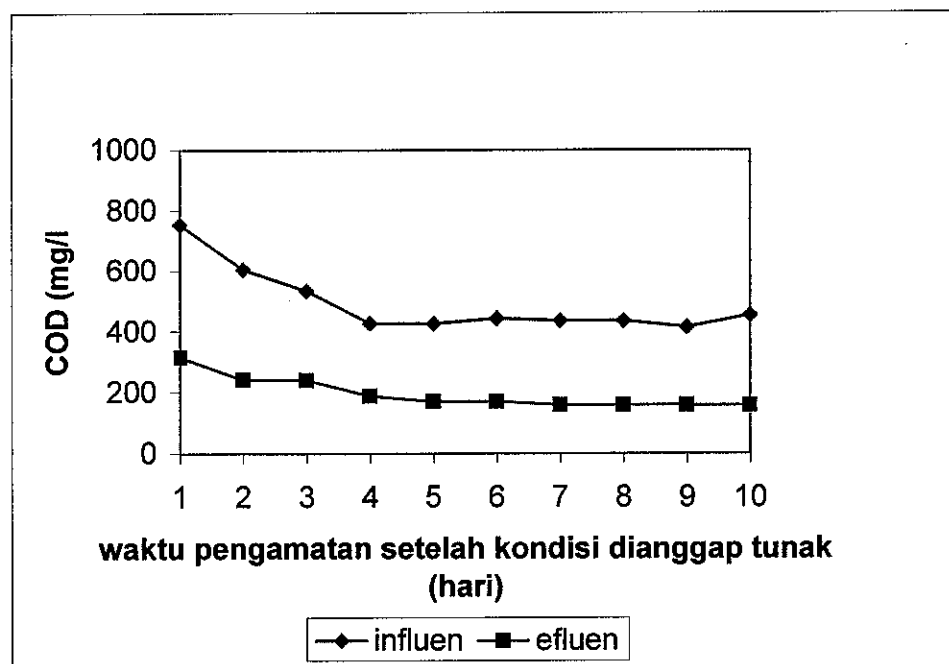
Hasil penelitian kinerja reaktor aerobik dengan variasi waktu tinggal 3,2 hari, 4,8 hari dan 6,4 hari menunjukkan fluktuasi influen – effluen COD dapat dilihat pada gambar 6, 7 dan 8. Dari gambar terlihat bahwa secara umum konsentrasi COD influen maupun konsentrasi COD effluen masih fluktuatif. Hal ini membuktikan bahwa setiap pergantian variasi penelitian menyebabkan perubahan kondisi reaktor yang pada akhirnya kondisi reaktor menjadi tidak tunak (unsteady state), sehingga diperlukan waktu yang sangat panjang bagi mikroorganisma dalam reaktor aerobik untuk menyesuaikan dengan kondisi yang baru.



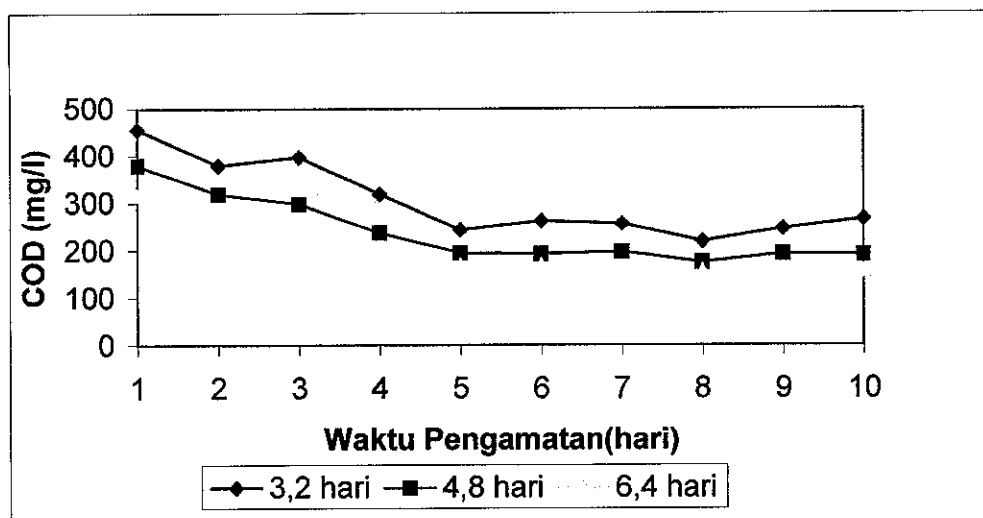
Gambar 6. Konsentrasi COD Pada Waktu Tinggal 3,2 hari Setelah Kondisi Tunak dan Pengamatan Sampai dengan 10 hari



Gambar 7. Konsentrasi COD Pada Waktu Tinggal 4,8 hari Setelah Kondisi Tunak Dan Pengamatan Sampai Dengan 10 hari



Gambar 8. Konsentrasi COD Pada Waktu Tinggal 6,4 hari Setelah Kondisi Tunak Dan Pengamatan Sampai Dengan 10 hari

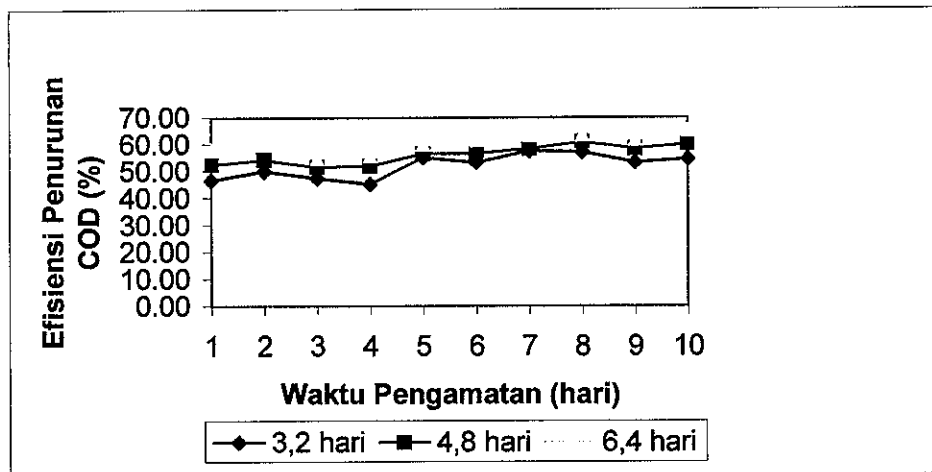


Gambar 9. Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Penurunan COD Efluen

Gambar 9 menunjukkan pola penurunan konsentrasi COD efluen terhadap waktu pengambilan sampel dipengaruhi oleh waktu tinggal. Waktu tinggal 6,4 hari mampu menurunkan konsentrasi COD lebih baik dibandingkan dengan waktu tinggal 4,8 hari dan 3,2 hari. Makin lama waktu tinggal akan memberikan waktu kontak antara bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dengan mikroorganisme yang terdapat dalam sludge juga semakin lama sehingga degradasi senyawa organik (penurunan COD) menjadi paling besar.

Gambar 10. menunjukkan hubungan persen penurunan COD terhadap ketiga waktu tinggal, dengan bertambahnya waktu tinggal meningkatkan persen penurunan COD. Hal ini disebabkan mekanisme kerja mikroorganisme aerobik dalam menurunkan kandungan organik akan menjadi lebih sempurna dengan semakin lamanya waktu tinggal.

Dari data analisa efisiensi untuk masing-masing waktu tinggal terlihat dari gambar 10, dimana waktu tinggal 6,4 hari memberikan efisiensi penurunan COD paling tinggi dan sudah menunjukkan angka dibawah baku mutu yang telah ditetapkan.



Gambar 10. Efisiensi Penurunan COD Dengan Variasi Waktu Tinggal

Berdasarkan hasil analisis varian satu jalur sebagaimana tercantum dalam lampiran 1, dapat diketahui bahwa efisiensi penurunan COD berbeda nyata pada berbagai variasi waktu tinggal secara bersama-sama, terbukti dengan  $F$  hitung 12,62 yang lebih besar dari  $F$  tabel 3,39 pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi waktu tinggal berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD. Berdasarkan analisis tersebut berarti  $H_a$  diterima dan  $H_o$  ditolak pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara ketiga variasi waktu tinggal, maka dilanjutkan dengan uji LSD (Least Significant Different), pada tingkat kepercayaan 95% untuk membandingkan masing-masing rerata perlakuan, sehingga dapat diketahui perlakuan mana yang berbeda nyata (signifikan) dengan yang lain terhadap efisiensi penurunan COD.

Hasil uji LSD terhadap efisiensi penurunan COD (%) menunjukkan bahwa variasi waktu tinggal 3,2 hari berbeda nyata dengan variasi waktu tinggal 4,8 hari maupun 6,4 hari pada tingkat kepercayaan 95%. Rerata efisiensi penurunan COD pada variasi waktu tinggal 3,2 hari sebesar 52,04%, sedangkan waktu tinggal 4,8 hari sebesar 56,10 % dan waktu tinggal 6,4 hari sebesar 60,49%. Hal ini menunjukkan bahwa waktu tinggal

berbanding lurus dengan efisiensi penurunan COD. Makin lama waktu tinggal akan memberikan waktu kontak antara zat organik yang terdapat dalam limbah cair dan mikroorganisma pada lumpur biologis juga semakin lama sehingga degradasi senyawa organik (penurunan COD) paling besar. Dengan dasar inilah maka waktu tinggal 6,4 hari digunakan sebagai dasar penentuan laju alir untuk pengujian pengaruh variasi rasio nutrien.

#### 4.3 Variasi Rasio Nutrien COD : P Mempengaruhi Efisiensi Penurunan COD(%)

Berdasarkan pengamatan selama penelitian diperoleh efisiensi penurunan COD dengan variasi rasio nutrien COD : P seperti tabel-tabel dibawah ini

Tabel 8 Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Rasio Nutien COD : P = 300 : 1

Waktu Pengamatan (hari)	COD influen (mg/l)	COD effluen (mg/l)	Efisiensi (%)
1	631	257	59,38
2	533	217	59,26
3	453	197	56,52
4	453	177	60,87
5	433	157	63,64
6	413	157	61,90
7	412	157	61,90
8	429	156	63,64
9	389	155	60,00
10	406	155	61,90

Sumber: Data Primer 2004

Tabel 9 Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Rasio Nutrien COD : P = 200 : 1

Waktu Pengamatan (hari)	COD influen (mg/l)	COD effluen (mg/l)	Efisiensi (%)
1	677	271	60,00
2	600	232	61,29
3	579	212	63,33
4	540	193	64,29
5	481	173	64,00
6	423	173	59,09
7	442	154	65,22
8	460	173	62,50
9	442	154	65,22
10	440	153	65,22

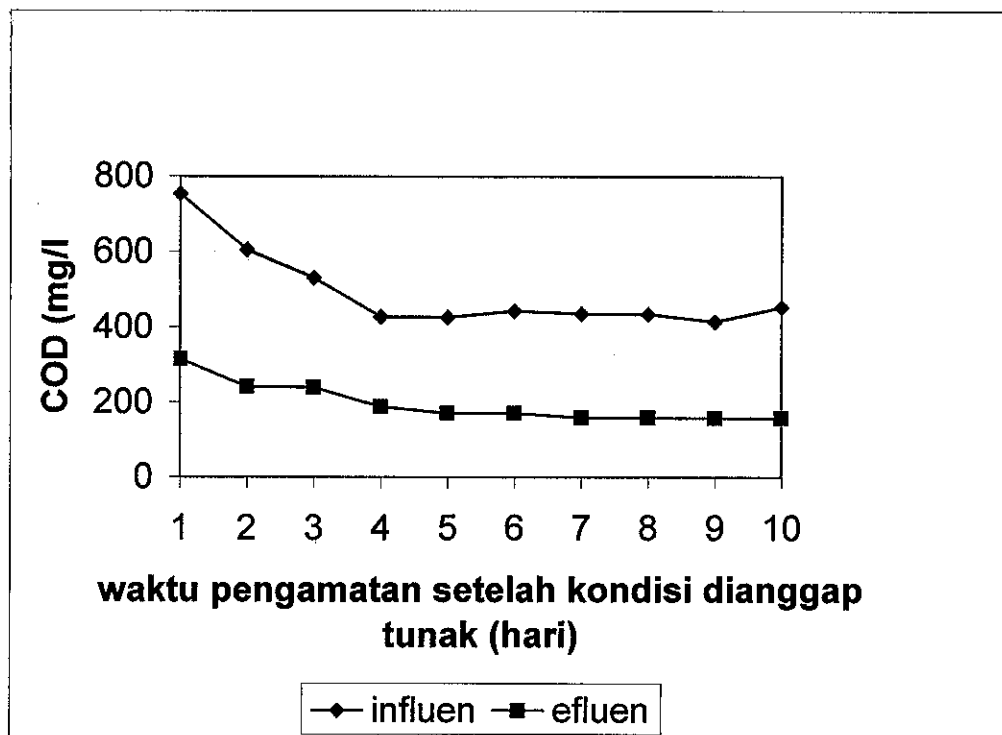
Sumber : Data Primer 2004

Tabel 10 Efisiensi Penurunan COD (%) Dengan Rasio Nutrien COD : P = 100 : 1

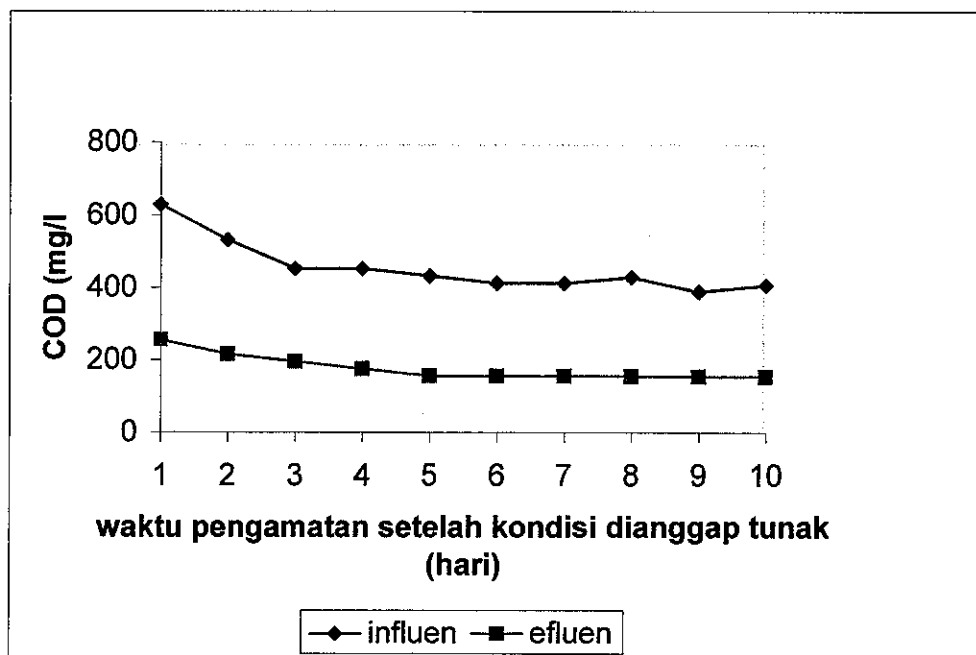
Waktu Pengamatan (hari)	COD influen (mg/l)	COD effluen (mg/l)	Efisiensi (%)
1	679	226	66,67
2	640	188	70,59
3	583	150	74,19
4	525	150	71,43
5	500	148	70,37
6	480	148	69,23
7	481	129	73,08
8	480	129	73,08
9	443	129	70,83
10	464	125	73,08

Sumber : Data Primer 2004

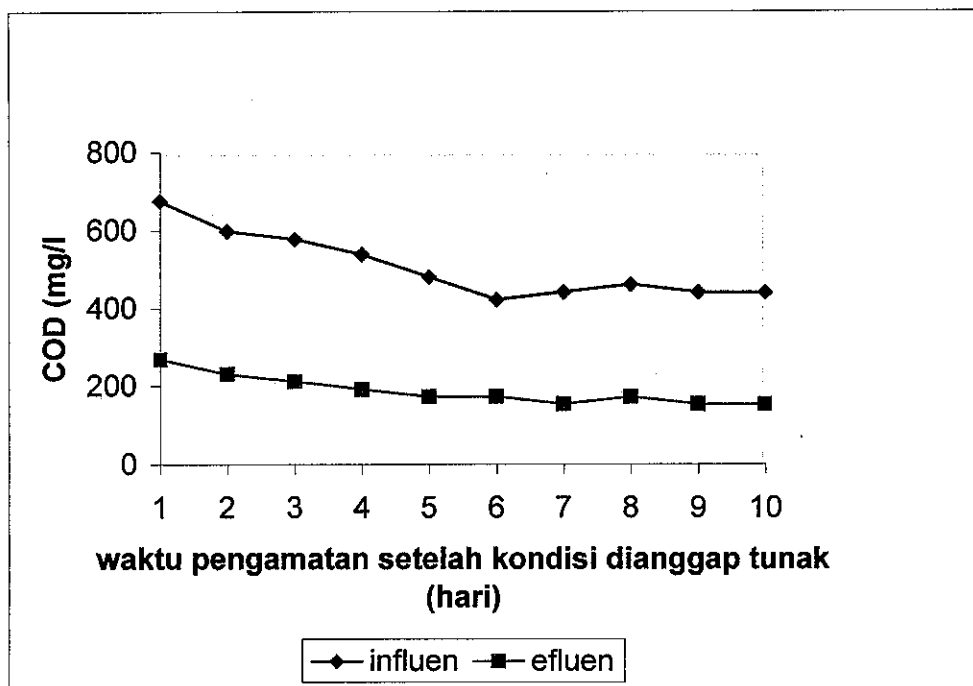




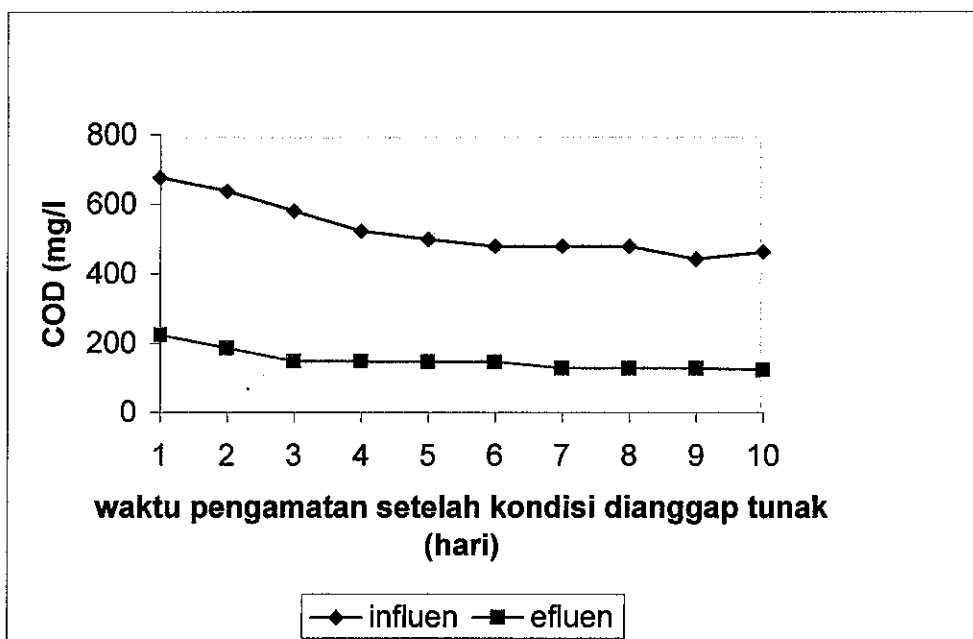
Gambar11. Konsentrasi COD Pada Variasi Nutrien Kontrol



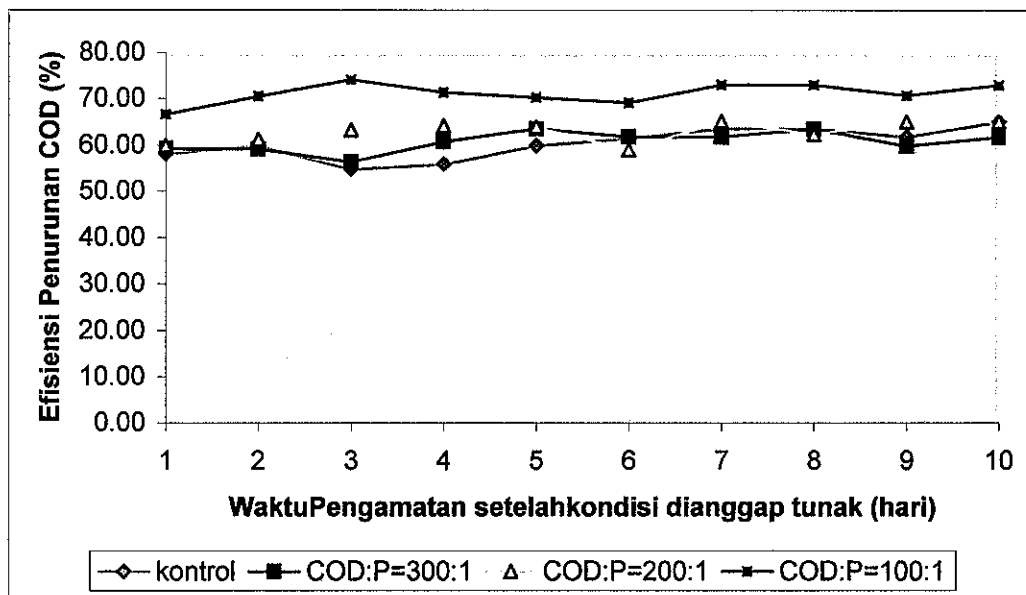
Gambar 12. Konsentrasi COD Pada Rasio COD:P=300:1



Gambar 13. Konsentrasi COD Pada Rasio COD:P=200:1



Gambar 14. Konsentrasi COD pada rasio COD:P=100:1



Gambar 15. Pengaruh Rasio Nutrien COD : P Dalam Berbagai Variasi Terhadap Penurunan Efisiensi COD (%)

Fluktuasi influen – effluen COD dengan variasi rasio nutrien COD:P = 300:1, 200:1 dan 100:1 dapat dilihat pada gambar 12, 13 dan 14. Dari gambar terlihat bahwa secara umum konsentrasi COD influen maupun COD effluen masih fluktuatif. Hal ini membuktikan bahwa untuk setiap pergantian variasi penelitian menyebabkan perubahan kondisi reaktor menjadi tidak tunak (unsteady state)

Berdasar hasil analisis varian satu jalur sebagaimana tercantum pada lampiran 2, dapat diketahui bahwa ada perbedaan yang signifikan (nyata) besarnya efisiensi penurunan COD terhadap variasi rasio nutrien, terbukti F hitung 38,287 lebih besar dari F tabel 3,39 pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa rasio nutrien berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD. Berdasarkan analisis tersebut berarti  $H_a$  diterima dan  $H_o$  ditolak pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji LSD (Least Significant Different), dengan tingkat kepercayaan 95% untuk

membandingkan rerata perlakuan dengan rerata perlakuan yang lain, sehingga dapat diketahui perlakuan mana yang berbeda nyata dan mana yang tidak berbeda.

Hasil uji LSD terhadap efisiensi penurunan COD antar variasi nutrisi menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD pada variasi rasio nutrisi COD : P = 100 : 1 berbeda nyata dengan efisiensi penurunan COD dengan rasio 200:1, 300:1 dan kontrol pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini dikarenakan kebutuhan hara terbatas (P) bagi mikroorganisme aerobik telah terpenuhi sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik, sehingga efisiensi penurunan COD paling besar yaitu 71,25% pada tingkat kepercayaan 95% . Efisiensi penurunan COD pada variasi nutrisi COD : P = 200 : 1 tidak berbeda nyata dengan variasi nutrisi COD : P = 300 : 1, ini disebabkan kebutuhan nutrisi P belum tercukupi sehingga efisiensi penurunan COD belum maksimal. Kenyataan ini sejalan dengan pendapat Droste R.L (1997), untuk pengolahan limbah cair secara biologis aerobik sebaiknya rasio nutrisi COD : N : P = 100 : 5 : 1. Kusdiyantini ( 2002), mengatakan bahwa untuk aktivitas pertumbuhan mikroba elemen-elemen ini harus ada dan mencukupi, kekurangan atau ketidakhadiran senyawa-senyawa ini dapat menghambat pertumbuhan mikroba, sehingga akhirnya mempengaruhi efisiensi penurunan COD.

Bila ditinjau dari target perusahaan untuk efisiensi penurunan COD secara aerobik sebesar 80%, sedangkan hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan COD dengan rasio nutrisi COD : P = 100 : 1 pada waktu tinggal 6,4 hari menghasilkan rerata efisiensi sebesar 71,25% atau lebih rendah 8,74%. Namun bila ditinjau dari baku mutu limbah cair yang telah ditetapkan berdasar SK Gubernur Jawa Tengah no 660.1/02/1997 untuk industri partikel board konsentrasi COD 225 mg/l, hasil penelitian ini didapatkan konsentrasi COD efluen 125 mg/l sudah dibawah baku mutu.

Perubahan kondisi dalam proses kontinyu sangat berpengaruh terhadap efisiensi reaktor. Perubahan kondisi diantaranya meliputi perubahan variasi perlakuan misalnya konsentrasi influen yang terlalu tinggi maupun hambatan teknis operasional misalnya listrik padam, perubahan pH, dan lain-lainnya. Hal tersebut menyebabkan kesetimbangan ekologis mikroorganisma terganggu, sehingga diperlukan waktu yang sangat panjang untuk mencapai keadaan tunak. Untuk itu disarankan agar kondisi reaktor aerobik dihindari dari hal-hal tersebut diatas dan pengolahan limbah harus kontinyu.

Efisiensi reaktor aerobik juga dipengaruhi oleh difuser untuk udara. Semakin banyak dan semakin kecil luas permukaan difuser maka luas permukaan gelembung udara semakin banyak sehingga difusi oksigen menjadi lebih bagus, juga semakin dalam difuser ada pada permukaan reaktor maka waktu kontak gelembung udara dengan mikroorganisma menjadi semakin panjang. Hal ini menyebabkan degradasi senyawa organik (penurunan COD) menjadi tinggi. Agar efisiensi reaktor aerobik tinggi perlu dijaga kondisi difuser.

#### **4.4 Model Laju Biodegradasi Berdasarkan Persamaan Neraca Substrat**

Mengingat reaksi enzim pada proses pengolahan limbah cair secara aerobik yang sangat kompleks, maka untuk mempermudah perhitungan pada kinetika reaksi biologi tidak digunakan model Michaelis dan Menten tetapi digunakan model Monod.

Didasarkan pada persamaan Monod, dalam Droste L.R (1997) : Model mengenai laju biodegradasi didekati dengan penyusunan persamaan berdasarkan penurunan konsentrasi COD terhadap waktu., sebagai berikut:

**Formulasi Model**

$$r_s = -\frac{kX_v S}{K + S}$$

$$r_s = -\frac{kS}{K + S}$$

**Persamaan Umum Neraca Substrat**

**In – out + Generation = Accumulation**

$$QS_0 - QS_e + r_s V = \frac{dS_e}{dt} V = 0$$

$$r_s = -\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} = -\frac{S_0 - S_e}{\theta_d} = -\rho$$

Substitusi ke persamaan Monod  $r_s = -\frac{kX_v S}{K + S}$  sehingga didapat

$$\frac{X_v}{\rho} = \frac{X_v \theta_d}{(S_0 - S_e)} = \frac{K}{k} \frac{1}{S_e} + \frac{1}{k} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$S_0$  = konsentrasi COD influen (mg/L)

$S_e$  = konsentrasi COD efluen (mg/L)

$\theta_d$  = waktu tinggal (hari)

$\rho$  = laju pengolahan limbah (mg/L hari)

$r_s$  = laju reaksi biodegradasi

$X_v$  = padatan yang menguap = VSS (mg/L)

$t$  = waktu (hari)

$k$  = koefisien laju keseluruhan ( $\text{hari}^{-1}$ )

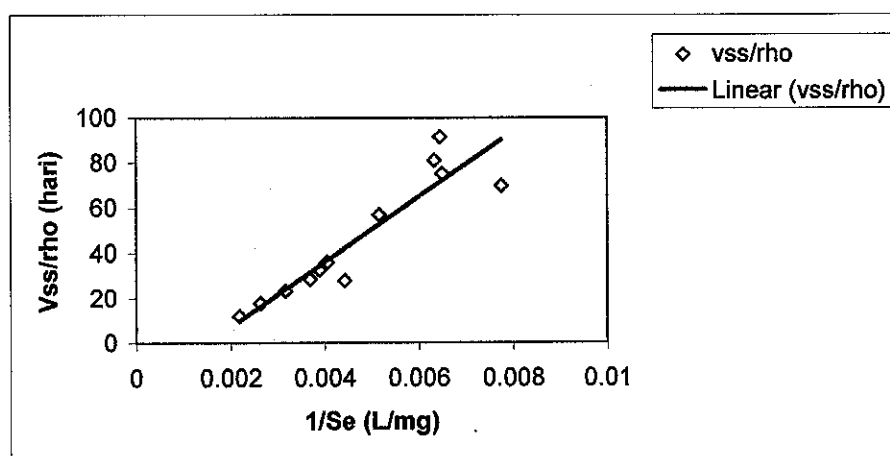
$K$  = konstanta kecepatan setengah (mg/L hari)

Dari data  $S_0$ ,  $S_e$ ,  $X_v$ , dan  $\theta_d$  dan dengan rumus diatas didapatkan hasil seperti tabel dibawah ini:

Tabel 11. Hasil Perhitungan  $X_v/\rho$  dan  $1/S_e$  Berdasarkan Data Pengamatan

$S_0$ (mg/L)	$S_e$ (mg/L)	$X_v$ (mg/L)	$\theta_d$ (hari)	$\rho$ (mg/L hari)	$X_v/\rho$ (hari <sup>-1</sup> )	$1/S_e$ (L/mg)
679	226	1980	6,4	70,7014	28,005	0,00442
443	129	3420	6,4	49,0445	69,733	0,00775
677	271	1810	6,4	63,4375	28,532	0,00369
442	154	3380	6,4	45,0000	75,111	0,00649
631	257	1910	6,4	58,4375	32,684	0,00389
389	155	3350	6,4	36,5625	91,624	0,00645
754	316	1590	6,4	68,4375	23,233	0,00316
415	158	3260	6,4	40,1563	81,183	0,00633
799	380	1550	4,8	87,2917	17,757	0,00263
465	194	3210	4,8	56,4583	56,856	0,00515
856	456	1510	3,2	125,0000	12,080	0,00219
530	247	3190	3,2	88,4375	36,071	0,00405

Kemudian plot  $X_v/\rho$ ,  $V_s$ ,  $1/S_e$ , seperti terlihat pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik hubungan  $VSS/\rho$  dan  $1/S_e$

Dari uji statistik (lihat lampiran 3) secara regresi linier didapat  $R^2 = 0,85$ , intersep  $-21,64$  dan slope  $14457,25$ . Sehingga didapatkan  $-k = 1/21,64 = 0,046 \text{ hari}^{-1}$

$$-K = 0,046(14457,25) = 665,033 \text{ mg/L}$$

Dengan demikian dapat disusun persamaan laju biodegradasi limbah cair sebagai berikut:

$$r_s = \frac{0,046 X_v \cdot Se}{665,033 + Se} \quad \text{mg/L hari}$$

Bandingkan dengan  $r_s = -\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} = -\frac{S_0 - S_e}{\theta_d} = -\rho$ , substitusi dengan persamaan Monod

tanpa  $X_v$ . Sehingga didapat

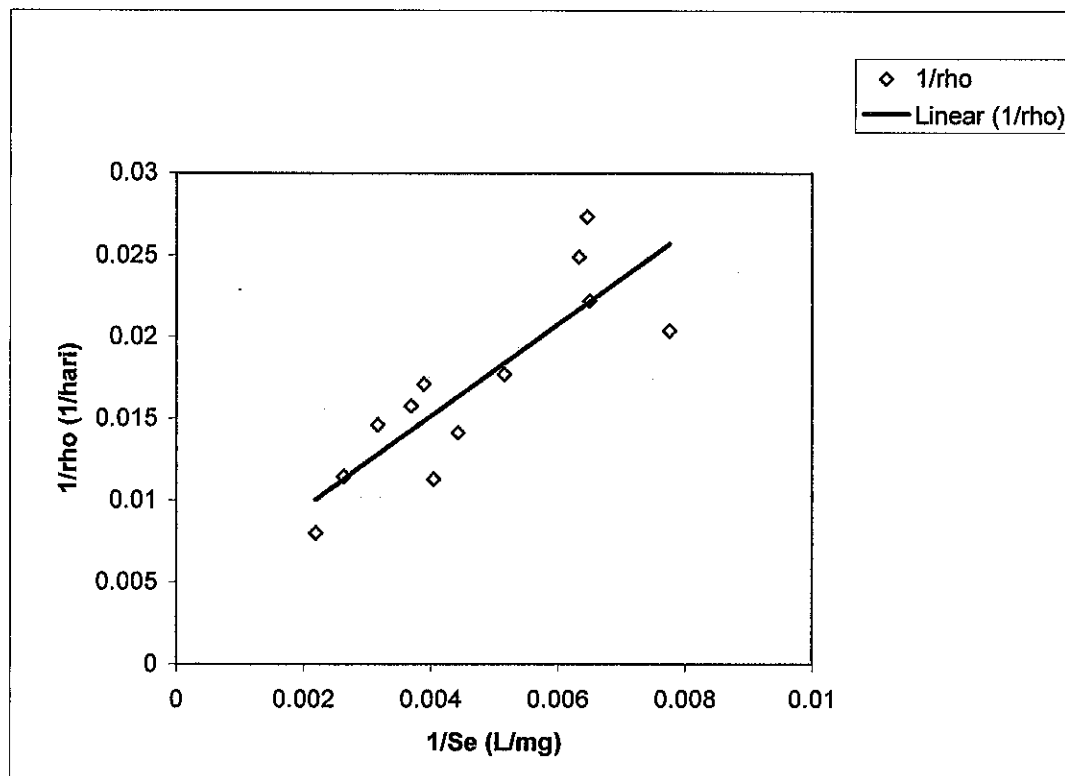
$$\frac{1}{\rho} = \frac{\theta_d}{(S_0 - S_e)} = \frac{K}{k} \frac{1}{S_e} + \frac{1}{k} \dots\dots\dots(2)$$

Dari data seperti di atas dengan menggunakan rumus 2 dapat ditabelkan sebagai berikut

Tabel 12. Hasil Perhitungan  $1/\rho$  dan  $1/Se$  Berdasarkan Data Pengamatan

$S_0$ (mg/l)	$S_e$ (mg/l)	$\theta_d$ (hari)	$\rho$ (mg/l hari)	$1/Se$ (l/mg)	$1/\rho$ (l hari/mg)
679	226	6,4	70,7813	0,00442	0,0141
443	129	6,4	49,0625	0,00775	0,0204
677	271	6,4	63,4375	0,00369	0,0158
442	154	6,4	45,0000	0,00649	0,0222
631	257	6,4	58,4375	0,00389	0,0171
389	155	6,4	36,5625	0,00645	0,0274
754	316	6,4	68,4375	0,00316	0,0146
415	158	6,4	40,1563	0,00633	0,0249
799	380	4,8	87,2917	0,00263	0,0115
465	194	4,8	56,4583	0,00515	0,0177
856	456	3,2	125,0000	0,00219	0,0080
530	247	3,2	88,4375	0,00405	0,0113





Gambar 17. Grafik hubungan  $1/\rho$  dan  $1/S_e$

Kemudian plot  $1/\rho$  dan  $1/S_e$ , dari uji statistik secara regresi linier didapat  $R^2 = 0,72$  (lihat lampiran 4).

Karena  $R^2$  dengan persamaan (1) lebih besar dari  $R^2$  persamaan (2), maka model yang dipilih yaitu dengan persamaan (1), selanjutnya digunakan untuk validasi model.

Dari hasil pengamatan diperoleh data  $S_o$ ,  $S_e$ ,  $X_v$  dan  $\theta_d$  dengan rumus persamaan 1 didapatkan hasil seperti tabel berikut yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung laju biodegradasi pengamatan /observasi,

Tabel 13. Hasil Perhitungan  $X_v/p$  dan  $1/Se$  Berdasarkan Pengamatan

$S_o$ (mg/l)	$S_e$ (mg/l)	$X_v$ (mg/L)	$\theta_d$ (hari)	$\rho$ (mg/L hari)	$X_v/p$ (hari)	$1/Se$ (l/mg)
640	188	2340	6,4	70,6250	34,407	0,00532
464	125	3440	6,4	52,9690	64,944	0,00800
600	232	1910	6,4	57,5000	33,217	0,00431
440	153	3400	6,4	44,8438	75,819	0,00654
533	217	2050	6,4	49,3750	41,519	0,00461
389	155	3370	6,4	39,2188	85,928	0,00645
606	242	2140	6,4	56,8750	37,626	0,00413
454	158	3280	6,4	46,2500	70,919	0,00633
698	319	2210	4,8	78,9583	27,989	0,00313
479	192	3330	4,8	59,7917	55,693	0,00521
759	380	2710	3,2	118,4375	22,881	0,00263
589	268	3020	3,2	100,3125	30,106	0,00373

Berdasarkan model persamaan (1), dan data tersebut diatas , didapatkan perbandingan  $r_s$  hasil simulasi model dengan  $r_s$  data pengamatan (observasi) yang akan digunakan untuk uji  $\chi^2$  pada  $\alpha = 95\%$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\text{nilai observasi} - \text{nilai model})^2}{\text{nilai model}}$$

Tabel 14. Perhitungan  $r_s$  Model dan  $r_s$  Observasi berdasarkan Data Pengamatan

$-r_s$ model	$-r_s$ observasi(pengamatan)	$\chi^2$
45,8029	46,9713	0,00061
37,8294	41,5758	0,37102
57,1287	47,6715	1,56555
46,8062	51,6661	0,50460
55,2200	47,1135	1,19006
46,7832	51,9807	0,57744
66,0135	56,3072	1,42715
46,6808	51,7228	0,54460
94,6233	83,4923	1,30936
60,7303	66,0034	0,45784
150,3992	131,2397	2,44075
86,5287	90,5028	0,18252
	$\chi^2$ total =	10,5715

Untuk  $n = 12$      $\alpha = 0,95$      $\chi^2 \alpha = 19,675$ ,

Hasil  $\chi^2$  hitung  $10,5715 < \chi^2$  tabel  $19,675$  pada tingkat kepercayaan  $95\%$  , sehingga model tersebut cukup akurat untuk digunakan.

Hasil uji statistik tercantum dalam lampiran 3

$$\text{Laju biodegradasi } r_s = \frac{0,046 \text{ Xv.Se}}{665,033 + \text{Se}} \quad \text{mg/Lhari}$$

Persamaan ini menunjukkan besarnya laju biodegradasi sebanding dengan padatan yang menguap (VSS) dan berbanding terbalik dengan konsentrasi COD efluen

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 SIMPULAN**

Berdasarkan penelitian dan analisa dapat diambil kesimpulan :

1. Waktu tinggal mempengaruhi efisiensi penurunan COD (%), dengan bertambahnya waktu tinggal meningkatkan persen penurunan COD. Hal ini disebabkan mekanisme kerja mikroba aerobik dalam menurunkan kandungan organik akan menjadi lebih sempurna dengan bertambahnya waktu tinggal. Prosentase terbesar terjadi pada waktu tinggal 6,4 hari rerata efisiensi penurunan COD 60,492 % pada tingkat kepercayaan 95%. Selanjutnya untuk waktu tinggal 4,8 hari rerata efisiensi penurunan COD 56,097 % pada tingkat kepercayaan 95%. Untuk waktu tinggal 3,2 hari rerata efisiensi penurunan COD 52,043 % pada tingkat kepercayaan 95%
2. Rasio nutrien COD:P mempengaruhi efisiensi penurunan COD (%). Prosentase terbesar terjadi pada rasio nutrien COD:P = 100:1 rerata efisiensi penurunan COD sebesar 71,255 % pada tingkat kepercayaan 95%. Selanjutnya untuk rasio nutrien COD:P = 200:1 rerata efisiensi penurunan COD sebesar 63,016 % pada tingkat kepercayaan 95%. Untuk rasio nutrien COD:P = 300:1 rerata efisiensi penurunan COD sebesar 60,901 % pada tingkat kepercayaan 95%. Prosentase efisiensi penurunan COD paling besar pada variasi rasio nutrien COD:P = 100:1, hal ini dikarenakan kebutuhan hara terbatas (P) bagi mikroorganisma aerobik telah terpenuhi sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh mikroorganisma tersebut untuk mendegradasi senyawa organik.

3. Kinetika laju biodegradasi berdasarkan persamaan Monod yang sudah diverifikasi dan divalidasi dapat digunakan pada pengolahan limbah cair secara aerobik,

$$\text{Laju biodegradasi } r_s = \frac{0,046 X_v \cdot S_e}{0,665,033 + S_e} \quad \text{mg/L hari}$$

dimana :

$S_e$  : konsentrasi COD efluen (mg/L)

$X_v$  : VSS (mg/L)

## V.2 SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Agar efisiensi peruraian limbah direaktor aerobik dapat mencapai diatas 80% maka proses pengolahan harus dilakukan secara kontinyu dan tidak dilakukan semi kontinyu.
2. Agar kinerja reaktor optimum, maka harus diperhatikan faktor-faktor yang sangat berpengaruh terhadap pengolahan limbah cair tersebut. Misalnya fluktuasi influen diusahakan tidak terlalu tinggi sebab akan berpengaruh terhadap kondisi tunak reaktor. Influen yang masuk ke reaktor aerobik diusahakan sekitar 600 mg/l, dengan penambahan nutrien P dengan rasio COD : P = 100 : 1

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaert.G, Sumestri,S, 1987, "*Metode penelitian Air*", Penerit Usaha Nasional , Surabaya.
- Anonymous, 1987, "*Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran Limbah padat dan Cair Industri* ", Departemen Perindustrian.
- APHA, AWWA, Water Environment Federation, 1995, "*Standart Methods for Examination of Water and Wastewater, 19<sup>th</sup> Ed*", American Public Health Assoc, Washington, D.C.
- Droste R.L.,1997, "*Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*", John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Eckenfelder, W.W, 2000, "*Industrial Water Pollution Control, International Edition*", McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- Eri Wibowo, 2001, "*Statistika Penelitian*", Alfabeta, Bandung.
- Kusdiyantini Endang et al, 2002, "*Mikrobiologi Dasar* ", Jurusan Biologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro, Semarang.
- Manahan, S.E., 1993, "*Environmental Chemistry, Sixth Edition*", CRC Press, Florida.
- Metcalf and Eddy, 1993, "*Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse*", Mc Graw Hill, New York.
- N.N., S.O.P. *Pengolahan Limbah Cair P.T. Rimba Partikel Indonesia*
- Pelczar, M.J..Jr.and E.C.S. Chan., 1981, "*Element of Microbiology* ", Mc Graw-Hill Int. Book Co, Tokyo.
- Reynold T.D., 1982, "*Unit Operationand Processes in Environmental Engineering*", Wadsworth, Inc, Belmont, California.
- Said Nusa, 1999, "*Kesehatan Masyarakat dan Teknologi Peningkatan Kualitas Air*", Direktorat Teknologi Lingkungan, BPPT, Jakarta.
- Saleh Samsubar, 2001, "*Statistik Induktif* ",Unit Penerbit dan Percetakan AMP YKPN, Yogyakarta.
- Steel, R.G.D. dan J.Htorrie. 1993, "*Prinsip dan Prosedur Statistik* ", Terjemahan dari Principles and Procedures of Statistics, oleh Bambang Sumantri. IPB. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Supranto.J., 2000, "*Statistik Teori dan Aplikasi* ", Edisi enam, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sutigno, P. dan A. Santoso. 1996. "*Pengaruh penambahan urea dan melamin pada perekat urea formaldehida terhadap emisi formaldehida dan sifat fisis-mekanis papan pertikel.*" Buletin Penelitian hasil Hutan Vol 14(5) : 178-191